继承与叛逆

现代科学为何出现于西方

陈方正 著

Heritage and Betrayal:

A Treatise on the Emergence of Modern Science in Western Civilization

生活·讀書·新知 三联书店

这是一部出色当行的西方科学与科学思想发展史。作者从四五百种古今文献中钩玄提要，建构出一部简明流畅的历史叙事，达到了深入浅出、举重若轻的境界。但本书的成就和价值远不止此，因为作者不仅仅整理出一部西方科学史，而且要以此为阶梯，去探索一个更重大的历史和文化问题，即“现代科学为何出现于西方？”但要澄清这一问题，研讨的范围必须从科学史推广到西方思想史与文化史的整体。细心的读者不难发现：本书在科学史叙事的后面衬托着一层西方哲学史，而且还隐现着一套西方文化史。但本书的深度尚不尽于此。作者笔下写的是西方科学史，心中关怀的却是科学与中国文化之间的关系；全书的设计和论辩方式也有意无意地针对着“李约瑟问题”而发，作者对于李约瑟的《中国科学技术史》及其它相关论著有着深入理解而且评论得非常中肯。

—— 余英时

今日人人都知道科学重要，对社会影响巨大，但大多数人对于科学是怎样发展起来的却知之甚少，因而难以真正了解世界大变局之根源。现代科学的本质是什么？它和社会、文化有怎样的关系？在过去数千年间是如何演化的？“李约瑟问题”背后的意义又何在？对于这些问题，本书为我们提供了详细解说和崭新视角。

—— 刘钝

ISBN 978-7-108-03047-4

定价：68.00元

继承与叛逆

现代科学为何出现于西方

陈方正 著

生活·讀書·新知 三联书店

Copyright © 2009 by SDX Joint Publishing Company
All Rights Reserved.
本作品版权由生活 · 读书 · 新知三联书店所有。
未经许可，不得翻印。

图书在版编目（CIP）数据

继承与叛逆：现代科学为何出现于西方/陈方正著.
—北京：生活 · 读书 · 新知三联书店，2009.4
ISBN 978-7-108-03047-4

Ⅰ.继… Ⅱ.陈… Ⅲ.自然科学史-西方国家 Ⅳ.N091

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 130001 号

责任编辑 徐国强 张艳华
装帧设计 罗 洪
出版发行 生活 · 读书 · 新知 三联书店
（北京市东城区美术馆东街 22 号）
邮 编 100010
经 销 新华书店
印 刷 北京隆昌伟业印刷有限公司
版 次 2009 年 4 月北京第 1 版
2009 年 4 月北京第 1 次印刷
开 本 720 毫米 × 965 毫米 1/16 印张 46.5
字 数 689 千字 插图 1 印张
印 数 0,001-5,000 册
定 价 68.00 元

序

余英时

我的老朋友陈方正兄费了多年工夫，终于完成了这部巨著：《继承与叛逆——现代科学为何出现于西方》。早在撰写期间方正便已约我为此书写序。虽然我是一个十足的科学门外汉（ignoramus），当时却一诺无辞，大胆地接受了这任务。这不仅仅因为我们之间存在着半个世纪的友谊，更因为本书的主旨涉及了我所关怀的中西文化异同问题。

我最初打算就本书的主题做点独立研究，如稍有所得，则可以和方正的基本论点互相印证。这是我为友人学术著作写序的习惯，虽然比较费力，却也颇有切磋之乐。但不巧得很，现在开始写序恰值病后，我的精力尚未恢复到可以发箧摊书、左右采获的状态，因此原有想法不得不加修正。在这篇序文中，我希望能陈述两点，以为本书读者之助。第一，阐释本书的性质及其特殊的重要性；第二，本于孟子“读其书不可不知其人”的原则，对本书作者作简要的介绍。

首先，我必须郑重指出，这是一部出色当行的西方科学与科学思想的发展史。作者从四五百种古今文献中钩玄提要，建构出一部简明流畅的历史叙事，真正达到了深入浅出、举重若轻的境界。但本书的成就和价值则远不止于此。这是因为作者的动机不仅仅在于整理出一部西方科学史，而是以此为阶梯，去探索一个更重大的历史和文化问题，即是本书副题：“现代科学为何出现于西方?”但要澄清这一问题，科学史本身是无能为力的，至少是不足够的；研讨的范围必须从科学史推广到西方思想史与文化史的整体。我相信细心的读者不难发现：本书在科学史叙事的后面不但

衬托着一层西方哲学史，而且还隐现着一套西方文化史。

但本书的深度尚不尽于此。“现代科学为何出现于西方?”的问题其实是对于另一重大问题的答复：“现代科学为何没有出现于中国?”正如本书“导言”中所显示，这两个问题其实是“李约瑟问题”（the Needham question）的一体之两面：“何以现代科学出现于西方而非中国”。很显然，作者笔下写的是西方科学史，心中关怀的却是科学与中国文化之间的关系；全书的设计和论辩方式也有意无意地针对着“李约瑟问题”而发。在《导言》与《总结》两章中，我们清楚地看到，作者对于李约瑟的《中国科学技术史》（*Science and Civilization in China*）以及其他相关论著，不但有深入的理解，而且评论得非常中肯。

现在让我以简化的方式说一说本书作者与李约瑟的分歧所在，然后再表示一点我自己的看法。问题当然要从李约瑟开始。李约瑟至迟在1943年访华时便已坚信：中国的“科学与技术”在16世纪以前一直是领先西方的，但此后科学在西方突飞猛进，在中国反而停滞不前了。因此他拒绝接受早期中国学人的看法，即科学是西方文化的产物。1975年，我和他在香港中文大学有过一次对谈，至今记忆犹新。我提到冯友兰早年那篇《中国为何没有科学?》的英文文章，他立即说：“冯的问题根本便提错了。中国缺少的不是科学，而是现代科学。”李约瑟以毕生精力，先后纠合了多位专家，终于完成《中国科学技术史》的编写。这当然是20世纪学术史上的不朽盛业。这部七大卷二十多分册的巨制将中国史上科技发明的辉煌纪录和盘托出，证实了他关于“中国有科学”的论断。

但是，李约瑟虽然为我们提供了无数有关中国科学史的基本事实，却亦未能对自己的问题给予令人满意的答案：“为何中国在科技发展上长期领先西方，而现代科学竟出现于西方而不是中国?”他在全书最后一册以及其他相关论著中曾试图作出种种解答，然而往往语焉不详，以至他的传记作者也不甚信服其说，而评之为“见树不见林”①。这里让我顺便提一下席文（Nathan Sivin）教授的看法。他最近评论李约瑟《中国科学技术

① Simon Winchester, *The Man Who Loved China*, New York: Harper Collins, 2008, p.260.

史》的《总结》，即第七卷第二分册，曾对“李约瑟问题”表示过下列意见：关于历史上未曾发生的问题，我们恐怕很难找出其原因来，因此我们与其追究“现代科学为何未出现在中国”，不如去研究“现代科学为何出现在西方”①。如果我的理解不错，那么本书作者与席文的看法可以说是不谋而合的。前面指出本书的最大贡献便在于交代了“现代科学为何出现于西方”这一根本问题，而且交代得原原本本，系统分明。可见本书恰恰符合了席文的最高期待。

为什么本书作者在这一基本问题上与李约瑟有分歧，与席文却不谋而合呢？我认为关键便在于彼此对“现代科学”的概念有不同理解。早在1974年，李约瑟便告诉我们：他把“现代科学”看做大海，一切民族和文化在古代和中古所发展出来的“科学”则像众多河流，最后都归宿于此大海，并且引用了“百川朝宗于海”这一生动成语来比喻此现象。很显然，他将“科学”从文化的整体脉络中抽离了出来，作为一种特殊的事象来处理。不但如此，他基本上认为中国和西方的科学传统走的是同一条路（the same path），今天已汇聚在“现代科学”之中。另一方面，他也指出，席文的见解和他不同，判定中、西“科学”各自“分途”（separate paths）进行。尽管如此，李约瑟还是相信，中国科学的“殊途”并不妨碍将来“同归”于“现代科学”。可知他心中的“现代科学”是普世性的，与民族或文化的独特背景没有很大关系。

本书作者则不但同样相信不同文化中的“科学”各自分途发展，而且还更进一步认为科学研究的传统无不托根于其独特的文化整体之中，因此绝不可能脱离其文化母体而被充分认识。西方科学尤其如此，因为如作者所云，它恰恰是“西方文明大传统最核心的部分”。根据这一基本认识，作者将西方科学传统的特征概括成以下两项：第一，它和“整个西方文明是同步发展，密切结合，无从分割的”。第二，它虽然可以被清楚划分为三个历史阶段，但从古希腊开始，通过中古欧洲吸收伊斯兰科学，到16世纪以下的现代科学，作为一整套学术体系，它仍然是一脉相承、

① *China Review International*, vol. 12, No. 2 (Fall 2005), p. 300.

推陈出新而发展出来的。这两点概括都建立在坚强的史实之上，而作者识断之精也由此可见。

作者对本书内容的取舍作了一个扼要的说明。他说："本书以数理科学即数学、天文学、物理学等可以量化的科学为主，实际上可以说几乎没有涉及化学、生物学、医学等领域……原因也是众所周知的，那就是：现代科学的出现毫无疑问是通过数理科学即开普勒、伽利略、牛顿等工作获得突破，而且此后三百年的发展显示，现代科学其他部分也莫不以数学和物理学为终极基础。"我必须郑重地提醒读者，这几句话是作者对西方科学传统"探骊得珠"的见道之语，千万不可轻易放过。本书胜义纷披，读者随处可自得之。限于篇幅，这里我只能就西方数理科学的问题稍稍引申作者的论点，然后回到"李约瑟问题"作一结束。

本书在《总结》第一段说，现代科学是"拜一个传统，前后两次革命所赐"，实有画龙点睛之妙。所谓"一个传统"即指从古希腊到现代的自然科学都在同一研究传统之内："现代科学"之出现虽然是由一次突破性的飞跃所导致，但在性质上仍与古希腊科学同条共贯。所谓"两次革命"，指运用精确的数学以量化自然界的研究，天文学和物理学便是其中成绩最为卓著的两个部门。通常我们用"科学革命"一词来指称十六七世纪的一系列重大突破。但作者特别提醒我们：十六七世纪的"科学革命"已是第二次了，第一次则在古代希腊，即柏拉图接受了毕达哥拉斯教派对于数学的无上重视，在他的"学园"中全力推动数学研究以探求宇宙的奥秘。其中细节见本书第四章，这里毋须赘言。我认为作者这一提示非常重要，因为这一点正是西方科学传统的灵魂所在。而且作者这一说法绝不是向壁虚构，前人也早有见及者，不过没有像作者表达得这样一针见血罢了。例如柯林武德（R. G. Collingwood）在《自然的观念》一书中便特别提出"自然科学中的毕达哥拉斯革命"（the Pythagorian revolution in natural science）并阐明其何以获得惊人的成功①。

上面分析作者对于西方科学的特征所作的种种描述，似乎可以用一句

① R. G. Collingwood, *The Idea of Nature*, Oxford, 1945, pp. 53 - 54.

话加以概括，即“自然世界研究的数学化”，因为在西方一般相关文献中“数学化”（mathematicization）一词常常是和科学分不开的。甚至在社会科学的领域，经济学因为数学化比较成功，才被承认具有较高的“科学的身份”，而非社会学或政治学所能企及。

西方科学既以“数学化”为其最主要的特征，则它与中国的科学传统自始即分道扬镳。这一巨大差异在中、西数学上便有极清楚的表现，本书《导言》已涉及此点。明末徐光启曾由利玛窦口授译出《几何原本》前六卷，他在比较中国《九章算术》与西方数学之后指出：“其法略同，其义全阙。”本书作者解释这两句话说：

> 中国与西方数学的根本差别，即前者只重程序（即所谓“法”），而不讲究直接、详细、明确的证明（即所谓“义”）……

其实我们也可以换一个角度，说“法”指计算的技术，而“义”则指原理。中国计算技术往往是相应于公私生活中的实际需要而发展起来的，但数学原理则似少有问津者。所以徐光启因《九章算术》而发出“其义全阙”的感叹。我们只要一检其中自《方田》、《粟米》以至《商功》、《均输》、《方程》各章的实例，对此便可了无疑义。不但数学如此，医学亦然，陈寅恪说：“中医有见效之药，无可通之理”①，与徐光启的话恰可互相印证。

徐光启虽然如作者所云对西方数学“心悦诚服”，但他是否充分了解数学在西方科学传统（当时方以智称之为“质测之学”）中的至尊地位，则尚待进一步探讨。一般地说，中国学人迟至19世纪中叶以后才对这一方面获得比较清楚的认识，如冯桂芬（1809—1874）与李善兰（1810—1882）两人当可为其代表。这是因为他们都研究西方数学而卓有成绩的缘故。冯氏在《校邠庐抗议·采西学议》中明确指出，数学为西学之源头所在，格致诸学皆由此出。李氏则代表当时西方数理在中国的最高水平：

---

① 见陈寅恪《寒柳堂集》，北京：三联书店，2001年，第188页。

他和威烈亚力（Alexander Wylie，1815—1887）合作，译完《几何原本》其余部分（卷七至十五），于1858年以《续几何原本》的书名刊行；此外还有多种有关数理的译著问世，并已开始翻译牛顿的《自然哲学之数学原理》（定名为《奈端数理》），可惜未能终卷。由于他的造诣最高，为西方在华专家所特别推重，所以清廷设同文馆，聘他为数学总教席，在任共十三年（1869—1882）。李善兰（字壬叔）是一位数学天才，他的朋友王韬（1823—1897）记他的话说：

> 壬叔谓少于算学，若有天授，精而通之，神而明之，可以探天地造化之秘，是最大学问。①

这几句话证明他对西方数学与自然科学的关系已有透辟的认识了。但达到这种理解并非易事。王韬虽自称在“西馆十年，于格致之学，略有所闻”，但仍不能接受李氏对“算学”的评价；囿于中国传统的观念，他竟说：“算者六艺之一，不过形而下者耳。”不过与当时一般士大夫相比较，王氏的识见已远为超出。试看下面的故事：

> 清晨，湖南樊吉山来访。吉山名川……甚慕算法天文及谶纬占望之学，以为泰西人素精于此，必有妙授。……予谓之曰：“西人天算，与中华所习术数不同，断不可误会也。”②

可知在绝大多数中国士人心中，西方算学、天文是和谶纬、占星、望气之类的“术数”属于同一范畴的。王韬能立即指出这是“误会”，足见他对西方“格致之学”虽未“入室”，至少已“登堂”了。

从以上所引明、清数学家对于西方数理的认识来看，则中国科学从未走上“数学化”的道路，其事昭然，已无争论的余地。从这一根本分歧

① 见《王韬日记》，北京：中华书局，1987年，第69页。

② 分别见上引《王韬日记》，第70，75页。

出发，让我表示一下对于所谓“李约瑟问题”的看法。

首先必须声明，我对“李约瑟问题”的观点基本上是和作者一致的。作者引了几位西方科学史家对于这个问题的负面评论，我读来并不感觉这是西方中心论的偏见。相反地，把西方科学传统理解为西方文化整体的一个有机环节，是很有说服力的。另一方面，李约瑟在他的不朽巨构中发掘出无数中国科技史上的重要成就，自然是有目共睹，但这些成就大体上仍不脱徐光启所谓“其义全阙”的特色。这当然是由于中国过去关于技术的发明主要起于实用，往往知其然而不深究其所以然。若与西方相比较，中国许多技术发明的后面，缺少了西方科学史上那种特殊精神，即长期而系统地通过数学化来探求宇宙的奥秘。所以中国史上虽有不少合乎科学原理的技术发明，但并未发展出一套体用兼备的系统科学。李约瑟讨论中国科学思想的进展，特别推重“道家”的贡献①。他似乎不曾注意，庄子既主张“六合之外，圣人存而不论”，又表示“吾生也有涯，而知也无涯，以有涯随无涯，殆已”②，这两种态度两千多年来影响士人的求知的取向极大，而适与西方科学精神互相凿枘。如果一定要在中国思想流派中找出一家与西方科学精神最相近的，我个人认为只有程、朱一系“格物致知”的理学足以当之。其中朱熹尤其值得注意，他自记“某五六岁时，心便烦恼：天体是如何？外面是何物?”可见他的好奇心最早是从“六合之外”开始的。这样的心理倾向若在西方的文化环境中很容易走上自然科学的路。明、清中国学人用“格物致知”来翻译西方的“科学”，可以说是顺理成章的事。但理学毕竟是中国文化的结晶，其终极关怀仍落在“六合之内”，也就是“人间世界”的秩序。关于这一点，我已详论之于《朱熹的历史世界》，这里不必涉及。总之，我认为中国没有产生系统的科学，其一部分原因是和中国文化和思想的取向密切相关的。

中西对自然现象的探究既然自始便“道不同，不相为谋”，则所谓“李约瑟问题”只能是一个“假问题”（pseudo-question）。我们可以用

---

① 见《中国科学技术史》第二卷。

② 分别见庄子《齐物论》与《养生主》。

“科学”一词指所有关于自然现象的探究。在这一最宽松的定义下，我们当然可以说“西方科学”、“中国科学”。但事实上，中、西这两种“科学”同名而异实；二者并不能用同一标准加以测量或比较，也就是“incommensurable”的。这好像围棋和象棋虽同属于“棋”类，却是完全不同的两套游戏。“李约瑟问题”说：中国的“科学”曾长期领先西方，但16世纪以后“现代科学”在西方兴起，于是将中国远远抛在后面了。这无异于说，某一围棋手的“棋艺”曾长期领先某一象棋手，但今天后者的“棋艺”突飞猛进，已远远超过前者了。通过“棋”的模拟，我们不必再多说一句话，已可知“李约瑟问题”是根本不能成立的，中、西“科学”之间无从发生“领先”与“落后”的问题。“中国科学”如果沿着自己原有的轨道前进，无论如何加速，也不可能脱胎换骨，最后与以“数学化”为特征的西方“现代科学”融合成一体。

今天一提及“科学”这一概念，我们立刻想到的必然是西方的现代科学，而不是中国过去的“四大发明”之类。“五四”时代中国知识人热烈欢迎“赛先生”，也正是因为他代表着西方文化的精粹。在这一意义上，中国过去并没有一种系统的学术相当于西方的“科学”并足以与之互较长短。关于这一点，我们只要稍稍检查一下《四库全书总目提要》（下文简称《提要》），问题的症结便无所遁形了。《提要》二百卷，其中只有“子部”的“农家”、“医家”和“天文算法”六卷可以划入“自然科学”的总类之中，但以《提要》而言，这三科不但分量较轻，而且处于中国学术系统的边缘。分析至此，我们必须回顾一下“李约瑟问题”的一个基本预设。前面已指出，李约瑟预设中国传统中的“科学”和西方“现代科学”是同一性质的，不过相比之下远为“落后”而已。所以他才强调，中国传统“科学”最后必然汇合于西方“现代科学”之中，如“百川朝宗于海”一样。这个预设究竟是否能站得住呢？如果仅仅空言论辩，问题当然永远得不到答案。但幸而有一种客观的历史事实为我们提供了解答的途径，即西方“现代科学”传入中国以后，它和中国原有的“科学”之间究竟存在着何种关系。这一历史事实得到澄清以后，我们才能对上述的预设有判断的根据。这是一个大题目，自然无法在此展开

讨论。下面我仅引一个有趣的史例为证，便大致足以说明问题了。同治六年（1867）总理衙门决定在同文馆中增设“天文算学馆”，专授天文学和数学。这是西方现代科学正式进入中国教学系统的开始。为了取得更好的效果，主持其事的恭亲王（奕䜣）和文祥最初建议翰林、进士、举人都可以申请入学，读了三年天文、算学之后，即予以“格外优保”的升官机会。但这个计划一提出便遭到以倭仁为首的保守派的激烈反对。保守派所持的理由以下面两点最值得注意：第一，西方的数学、天文学不过是一种“机巧”，甚至可以视之为“异端之术数”，不但不足以“启衰振弱”，甚至有害于“士习人心”。第二，“奉夷为师”，最后必将动摇士大夫的“忠君”意识。以这两点理由为根据，倭仁及其支持者在北京发起了一场运动，阻止科举出身的人报考天文算学馆。他们成功地制造出一种气氛，使士阶层中人深以入同文馆为耻，以至最后总理衙门在奏折中抱怨：“臣衙门遂无复有投考者。”但保守派既不敢公开反对西方天文、数学的引进，那么谁来接受这种教育呢？当时有一位御史提出下面的建议：

> 止宜责成钦天监衙门考取年少颖悟之天文生、算学生，送馆学习，俾西法与中法，互相考验。

这条建议恰好涉及西方现代科学和中国本土科学之间的交涉问题，让我稍作分疏。

首先必须指出，保守派对于天文、算学既无知识，也无兴趣。他们之所以提出“钦天监衙门”中的天文生、算学生，只是因为这是唯一以天文、算学为专业的技术人员，地位低下，与科举正途中的“士”相去天壤。他们以“钦天监衙门”的天文、算学代表“中法”，尤其是无知乱道；他们似乎不知道明、清之际天文、算学早已接受了耶稣会教士传来的“西法”。汤若望（Adam Schall von Bell）即是顺治时期的钦天监。换句话说，保守派的建议完全出于贬抑西方天文、数学的动机，即视之为一种技术，不值得“士”阶层中人去浪费时间。所以“西法与中法，互相考验”不过是一句门面语，其中绝无倡导中、西两种“科学”交流之意。

如果从官方设立天文算学馆的角度出发，问题便更清楚了。此馆是在外籍顾问丁韪良（W. A. P. Martin）和赫特（Robert Hart）影响下成立的，赫特并于1866年为馆中聘来了两位欧洲教席。但天文算学馆的范围一直在扩张，除了天文、算学两门外，还增设了物理学、化学、生物学及人体解剖学等；这些西方现代的新兴学科在中国传统的学术系统中是找不到相应的部门的。（中国原有的“物理”一词，与西方的“physics”根本不能混为一谈①。）

天文算学馆的建立清楚告诉我们，中国自始即把西方现代科学当作全新事物而加以吸收。无论是中国主持人或西方顾问都没有考虑到中、西两种“科学”研究的传统应当如何接轨的问题。严格地说，只有明、清之际数学领域中曾发生过所谓“中法”和“西法”的交涉，即《清史稿·畴人一》（卷五〇六）所说：“泰西新法，晚明始入中国，至清而中西荟萃，遂集大成。”但是19世纪中叶以后传来的现代天文、算学则又远远地超出过去的成绩。例如同文馆的算学总教席李善兰曾与伟烈亚力合作，译了许多有关天文、代数、解析几何等最新的专著；他十分兴奋，对朋友说②：

> 当今天算名家，非余而谁？近与伟烈君译成数书，现将竣事。此书一出，海内谈天者必将奉为宗师。李尚之（按：李锐，1765—1814）、梅定九（按：梅文鼎，1633—1721）恐将瞠乎后矣。

这几句私下谈话最能反映出李善兰已完全信服了西方现代的天文学和数学，因此才毫不犹豫地断定有清一代最负盛名的梅、李两人在此一领域中“恐将瞠乎后矣”。李善兰在这里所表明的恰恰是19世纪中叶以来中国人接受西方现代科学的典型态度：全面拥抱西方最新的天文学和数学，但不

---

① 以上论天文算学馆的创建及其纠纷，详见刘广京《变法的挫折——同治六年同文馆争议》，收在他的《经世思想与新兴企业》，台北：联经出版公司，1990年，第403－418页。

② 见前引《王韬日记》，第109页。

再重弹“中法”、“西法”互相“印证”的旧调。换句话说，这是在科学领域中进行最彻底的“西化”。而在这一过程中，中国以往的业绩，包括天文、算学在内，都已处于若有若无的边缘地位。当时士大夫几无不视科学及科技为西方所独擅，因此才有“西学”这一专词的出现，从冯桂芬的《采西学议》到张之洞的“西学为用”都是如此。他们并不认为中国也有一套可以与“西学”分庭抗礼的“科学”遗产。相反地，只有对科学完全无知而又敌视的保守派才会制造出“西学源出中国说”的奇谈怪论。

为了从历史角度加强本书作者对于“李约瑟问题”的质疑，上面我特别借着同文馆设立天文算学馆的例案，来观察西方现代科学传入中国的方式。与十七八世纪的情形不同，中国原有的科技成就在西方最新的发现和发明面前已“瞠乎后矣”，因此并未发生多少接引的作用。李约瑟所想象的“百川朝宗于海”的状况根本未曾出现。19 世纪晚期以来科学在中国的发展史事实上便是西方科学不断移植到中国的过程，从局部一直扩展到全方位。今天中国的科学教育已完全与西方接轨了，在第一流的中国大学中，直接采用西方原作或者译本作为教科书，是很普遍的。在这个明显事实的面前，“李约瑟问题”已失去了存在的根据。

以上是我对于本书学术价值和意义的一些初步体认。限于精力和时间，我只能就一两大关键处稍申所见，以响应作者的孤怀宏识。下面我要把我所认识的作者，他的为人与为学，介绍给读者，稍尽一点知人论世的责任。我的介绍虽然是从老朋友的立场出发，但仍将本于史家直笔之旨，决不作虚词溢美。

我最初认识方正，是由陈伯庄先生（1893—1960）介绍的。伯庄先生是和赵元任、胡适同届（1910）的庚款留美学生。他早年读化学工程，中年以后则转而研究经济学、社会理论、哲学等，因此他曾自比为斯宾塞（Herbert Spencer，1820—1903），并颇以此自豪。晚年在香港，他广泛阅读西方人文、社会科学的最新名著，并常常邀约青年人和他一起交流读书经验。我便是在这种情况下成了他的一个忘年之交。1959 年底他拟定了一个西方名著翻译计划，到美国来寻求有关作者的合作，哈佛大学是他最

重要的一个访问站。他一见面就说：他要介绍一位非常杰出的小朋友给我，这位小朋友便是方正，当时他正在哈佛读本科，大概还不到二十岁。

订交之始，方正在我心中留下的最深刻、最难忘的印象是他一身结合了相反相成的两种质量：一方面他朝气蓬勃，对于人生和学问都抱着高远的向往；另一方面无论在思想或情感上他都已达到了非常成熟的境地，远远超过了他的实际年龄。尽管我们之间相差九岁，但却一见如故，自然而然地成为无话不谈的朋友。伯庄先生为什么那样热心地介绍我们相识，我也完全明白了。

方正早已选定了物理学作专业。但与绝大多数理科少年不同，他对人文学科一直保持着深厚的兴趣。我记得他当时选修了康德知识论的课程，曾多次和我谈到他的理解与心得。此外他知道我比较欣赏柯林武德的历史哲学，也时时上下其议论。也许是由于家学的关系，他在中国文史方面也具有一定的基础。如果我的记忆不错，明末遗老顾亭林、黄梨洲也曾成为我们的话题之一。总之，方正年甫弱冠而竟能在科学与人文之间取得如此高度的均衡，他的心灵成熟之早，可想而知。但最能表现他的成熟的，则是他学成回香港就业的决定。他很早便和我谈及毕业后的去留问题。他说，他修完博士学位以后，不拟在美国就业，宁愿回到香港去从事教学与研究。五十年前物理学在美国正盛极一时，工作机会俯拾即是，因此外国学生毕业后留下来的不可胜数，方正却偏偏要赋归去。我问他为什么做出与时风众势适相逆反的决定？他说，他曾经细细考虑过，深感他留在美国不过是赶热闹，但回到香港则可以发挥更大的作用，使最先进的科学有机会在亚洲发芽茁长。他说这话时大概刚刚进研究院，其立身处世之节概与形势判断之明确，于此可见一斑。

我再度与方正聚首已是十几年后的事了。1973—1975 年我从哈佛告假两年，回到母校新亚书院工作，方正那时已在中文大学物理系任教。这次共事的机缘才使我对他获得更全面的认识。1974—1975 学年，大学在香港政府的压力之下成立了一个“大学改制工作小组”，组员十余人，他是其中最年轻的一位。小组每周至少聚会一次，整整持续了一年之久。方正在这一长期讨论中充分展露了多方面的才能和知识。在质询行政各部门

首长的过程中，他提出的问题最为锋锐，并且往往一针见血。这说明对于中文大学的现行结构及其运作，他平时早有深刻的观察，因此才胸有成竹。在改制建议方面，他在口头陈词之外还写过几篇内容丰富的备忘录，显示了关于现代大学理念的睿见。前面说过，少年时期他在科学与人文之间的均衡发展早已使我惊异，现在他刚入中年，却又表现出另一种均衡：即一方面能从事高深的学术研究，另一方面又能承担起学术领导的工作。这也是两种相反相成的质量，相当于西方的所谓 *vita contemplativa* 和 *vita activa*，集结于一身更是难上加难。

我自信以上的认识虽不中亦不甚远，而且方正以后的事业发展也印证了我的观察。1977 年香港中文大学改制以后，他成为行政部门重要的领导人之一；他选择了中国文化研究所作为他在中大的最后一片耕耘之地，更充分体现了科学与人文的交流以及研究与领导的合一。

《继承与叛逆》是一部体大思精的著作，我们对于它的作者多认识一分，也许便能对此书的价值与涵义获得更深一层的理解。是为序。

2008 年 12 月 31 日于普林斯顿

自　序

像许多投身科学工作的人一样，我在学生时代读过好些科学家传记，并且很受触动，但真正接触科学史，则是很久以后的事情，这恐是因为当时在大学里面，科学教育并不重视科学史，甚至为“科学没有时间性因而其历史并不重要”这样的观念所笼罩吧。二十多年前，我离开中文大学的物理系和行政部门，转到中国文化研究所工作，跟着赴哈佛大学费正清中心作半年访问，在那里无意中听到何丙郁先生有关中国古代数学的演讲，又见到钱文源《巨大的惯性》（*The Great Inertia: Scientific Stagnation in Traditional China*）一书。记忆中我对他们两位的观点虽然无法作判断，却都不甚惬心。当时还读到库恩（Thomas Kuhn）的《科学革命的结构》（*The Structure of Scientific Revolution*），它所引起的反应更为直接和强烈，竟使我产生了荒诞不经之感。因此，科学史和科学哲学所予我的最初印象都是不怎么有吸引力的。

回到中国文化研究所之后，记得劳思光先生曾经建议，李约瑟的多卷本巨著《中国科学技术史》存在不少问题，应当花工夫仔细梳理一遍。当时我对科学史尚未感兴趣，因此毫无思想准备，并没有作出反应，也就辜负了他的好意。其后《联合报》在香港出版，在朋友怂恿下我为之撰写《不可爱的真理》短文系列，批评库恩、波普（Karl Popper）的观点，虽然只是浮光掠影，没有深入讨论，却是涉足与科学相关的文科领域之始。整十年后蒙汤一介先生邀请到北京大学主持“蔡元培讲座”，我以《在正统与异端以外——科学哲学往何处去?》为题，对时兴的多种科学哲学潮流展开批判，并且就其根源提出分析和看法，

这才得以略为抒发胸臆。至于我之终于走进科学史领域，也同样是由于偶然机缘：1994 年为了讲授一门有关天文学知识的课程而开始细读《周髀算经》，并且深受吸引，翌年蒙李学勤先生邀请参加在海口召开的国际汉学会议，遂将研究结果整理成论文发表。此后涉猎渐多，陆陆续续写了几篇文章，其中 1997 年底在《二十一世纪》发表的《为什么现代科学出现于西方》代表我当时对西方与中国科学发展史的看法，它虽然粗略，但其中一些观点至今可能还有价值，而且，在本书中也得到了印证和进一步的发挥。

在撰写该文过程中，我逐渐意识到，国人对于中西传统科学的一些观念（例如中国古代科学比西方优胜，它其后的停滞是由于宋明理学的影响，等等）是如何之广泛和根深蒂固，而这些观念的形成，则直接或间接受李约瑟巨著的影响——虽然它们和后者的看法并不一定符合，甚至可能相反。我深切感到的另一点是，国人真正感兴趣的，往往只是为中西科学发展的巨大差异寻求浅易和简单的解释，但对于西方科学发展过程本身以及其文化、政治、社会背景，则既不甚熟悉，也不太注意。因此，李约瑟的开创性工作虽然对中国文化带来无可比拟的巨大贡献，却吊诡地使得中西科学的比较更加难以客观和深入。这一方面是因为他相当公开和直白地以宣扬中国传统科技的优越为终身职志，所以十分自然地大受国人欢迎；另一方面则因为他的二十多卷巨著并没有相应的西方科学史来加以平衡——某位西方科学史家说得好：李约瑟为中国做到了我们自己也还未曾为西方文化应该做的事情！

然而，在我看来，夸大中国传统科技成就，和贬抑西方古代科学的重要性，虽然好像能够帮助重建民族自尊心，其实是极端危险，是有百害而无一利的。中国今日已经走出近代屈辱的阴影，开始迈向富强，但正唯其如此，所以更急切需要对西方历史、文化的客观、虚心和深入了解，否则轻易就被自满自豪的情绪所蒙蔽，那目前的进步恐怕将难以为继吧。法国哲学家图道罗夫（Tzvetan Todorov）在仔细分析西班牙冒险家柯特斯（Hernando Cortés）如何率三百勇士征服墨西哥数千万人之众后说："这惊人的成功在于西方文明的一个特点……说来奇怪，那就是欧洲人了解别人

的能力。”我相信，这一观点虽然简单，却是十分深刻而值得国人记取的。

2004年刘钝先生很客气地邀请我到中国科学院自然科学史研究所担任“竺可桢自然科学史讲席”，为我在这方面的工作提供了新动力。当年春季我以毕达哥拉斯教派与古希腊科学的渊源为题，在中山大学哲学系作了两次演讲；10月至11月间到北京，以“西方科学的哲学与宗教渊源”为题作公开演讲，又以“西方文化传统中的科学”为总题，对自然科学史所的研究生作了八次演讲，都引起了出乎意料的热切反应。事后三联书店编辑张艳华女士建议我将演讲稿整理出版，我很高兴地答应了，并且天真地以为可以在半年内交卷。然而，我虽然很明白，此书不可能在史实上探新发覆，而必须以西方科学史界已经发表和确认的材料作为论述根据，始料不及的是，当初拟定的著作规模却由于其内在逻辑而无可抗拒地不断扩大，至于相关资料、著述之丰富，各种问题之错综复杂，更远远超乎原先想象。这正如许多作者所说，一本书自有其内在生命，并非作者从头就能预见，更非其所能完全控制。今日此书付印在即，它有如婴儿长大成人，当初的简明讲稿已蜕变为不复可以辨识的另一部作品了。

对我个人来说，此书的撰写是个大胆尝试，也是困勉以赴的摸索过程，几乎每往前踏进一步都必须在许多迷惑与歧途之中挣扎，但也是极其愉快的经历，因为付出辛劳之后总能够缓慢前进，至终完成当初的构想。更重要的是，它坚定了我原先的初步看法，即现代科学之出现于西方，绝非由于短短数百年间的突变，而是和整个西方文明的渊源、发展与精神息息相关，也就是说，它是西方文明酝酿、累积数千年之久的结果。这正如中国今日之能够成为世界上人口最众多，历史文化源流最悠久的国家，也同样是中华文明酝酿、累积数千年的结果。因此西方与中国科学的真正分水岭不在近代，而远在公元前四五世纪之间甚或更早，譬如说孔子和毕达哥拉斯在世的“轴心时代”。当然，这样一个命题恐怕永远不能得到“证明”，但随着中西方科学史的发展和深入探讨，我们对它的看法也可能日益明确起来。倘若此书能够对这方面工作产生一点微小刺激和推动作用，那么它的使命也就完成了。

本书易稿凡十数遍，比原定篇幅扩张三倍有余，原定交稿期限也推迟三年之久，但张女士和三联书店领导对此计划的信心和支持始终不变，使我得以专注撰述而无后顾之忧，此外徐国强先生在编校方面也投入了大量精力，所以我首先要向他们各位致以衷心感谢；香港各大学图书馆的高效率运作以及香港中文大学图书馆系统为我提供的特殊协助和安排，使得本书的资料搜集倍加顺利和方便，我在此对他们的专业服务表示敬佩和深切谢忱；此外，中国文化研究所所务室同事严桂香女士、李洁儿女士和丘玉明女士等为我提供多方面日常协助，不辞繁琐而有求必应，这也是我极其感激的；最后，我的老朋友余英时教授在病中犹奋笔为此书撰写长序，盛情可感，梁其姿教授则在百忙中抽空通读书稿，并且提出许多宝贵意见，在此我要一并对他们两位深深致谢。但自不待言，书中尚未消除的错漏不应该由梁教授负责。

2008年仲夏于用庐

目　录

余英时序 …………………………………………………………… Ⅶ
自序 ……………………………………………………………………… XX

前言 …………………………………………………………………… 1
导论 …………………………………………………………………… 5
　一、本书缘起　5
　二、中国科学落后原因的讨论　9
　三、李约瑟及其思想体系　12
　四、李约瑟的影响与批判　20
　五、本书基本观念　27
　六、整体构思与主要结论　31

第一章　远古科学传统 ……………………………………………… 35

　一、远古文明轮廓　36
　二、埃及数学手卷　45
　三、陶泥板上的数学　49
　四、巴比伦代数学　53
　五、代数型几何学　58
　六、希腊文明的渊源　65

第二章　自然哲学传统 ……………………………………………… 73

　一、爱琴海的世界　74
　二、自然哲学概观　79

三、米利都学派 81
四、爱奥尼亚哲人 89
五、从大希腊到雅典 92
六、自然哲学的成熟 98

第三章 永生与宇宙奥秘的追求 …… 104

一、笼罩科学诞生的迷雾 104
二、毕达哥拉斯其人 110
三、从奥林匹克诸神到奥菲士 115
四、毕氏教派的组织与信仰 120
五、宇宙奥秘的探索 123
六、教派理念与科学传统的建立 134
附录：费罗莱斯的音乐理论 138

第四章 西方科学第一场革命 …… 140

一、毕氏教派的传承 141
二、柏拉图的思想历程 144
三、从教派到柏拉图学园 148
四、新普罗米修斯革命 154
五、远古与希腊天文学 166
六、以数学建构宇宙模型 173
七、学园传统的延续 180

第五章 希腊科学的巅峰 …… 183

一、从雅典到亚历山大 184
二、欧几里德：承上启下的大师 190
三、阿基米德：度量几何学 196
四、阿波隆尼亚斯：圆锥曲线 202
五、数理天文学的发展 206

六、天文学大师喜帕克斯　215

第六章　罗马时代的科学与教派 …………………………………… 222

一、希腊世界的破灭　224
二、天文学与机械学传统的延续　227
三、希腊—罗马的学术传承　232
四、毕达哥拉斯教派的重生　239
五、柏拉图主义的地下世界　244
六、新柏拉图学派及其转向　252

第七章　古代宇宙观的完成 …………………………………… 256

一、亚历山大科学的最后光芒　257
二、托勒密与《大汇编》　260
三、天体运行理论　266
四、恒星的研究　276
五、行星理论　279
六、广博的科学成就　283
七、传统的回响与终结　292
八、大时代的没落　296
附录：托勒密月运行模型之修订　306

第八章　伊斯兰世界的新科学 …………………………………… 309

一、希腊文明的移植　312
二、阿拉伯翻译运动　319
三、新科学前缘：代数学　325
四、天文学的发扬与创新　330
五、实用与实验科学　335
六、伊斯兰哲学巅峰　342
七、安达鲁斯的托勒密批判　348

八、异军突起的马拉噶学派 353
九、撒马尔罕的辉煌成就 360
十、伊斯兰科学为何没有现代突破 364

第九章 欧洲文化复兴 …… 370

一、新时代的来临 371
二、欧洲文化的传承与复兴 376
三、翻译运动：兴起与高潮 380
四、希腊世界的回归 388
五、大学体制的出现 394
六、法学传统与专科大学 397
七、经院哲学与综合大学 404
八、大学体制的扩散 414

第十章 中古科学：实验精神与动力学 …… 419

一、从奋进到分裂的教会 421
二、科学与神学的冲突 426
三、三位教会科学家 431
四、实验精神：光学与磁学 442
五、中古数学与天文学 450
六、科学小传统：炼金术 454
七、动力学与分析学前驱 458
八、巴黎的响应 463
附录：布拉沃丁的速度比例理论 470

第十一章 文艺复兴时期：酝酿与突破 …… 472

一、普世主义的幻灭 473
二、意大利与中欧新气象 480
三、奠基的三代天文学家 486

四、哥白尼革命 493
五、科学与艺术的互动 503
六、柏拉图热潮与魔法 507
七、炼金术的转向 516
八、数学的复兴 519
九、代数学的突破 526
十、探究无限：解析学的开始 533
附录：费罗解三次方程式途径的猜想 539

第十二章 混沌中出现的科学革命 …………………………………… 540

一、从第谷到开普勒 541
二、贯通天上与地下的科学 548
三、高涨的科学思潮 557
四、挑战“无限”的大军 563
五、动力学的困惑与进展 572
六、大自然的神奇之子 576
七、不朽巨著 581
八、从教授到伟人 587
九、牛顿与科学革命 589
十、科学革命的本质是什么 596

总结 ………………………………………………………………… 599

一、西方科学大传统 599
二、希腊科学：起源与停滞问题 601
三、伊斯兰与欧洲中古科学 605
四、文艺复兴科学的主轴 609
五、导致现代科学革命的因素 611
六、万里外的另类科学革命 620
七、李约瑟问题的消解 622

八、西方与中国科学的比较 627
九、西方科学发展的特征 629

参考文献…… 635
译名对照表…… 670
索引…… 689

地图

1 希腊与东方古代文明（公元前1600—前500年） 37
2 古代希腊世界（公元前1200—前400年） 77
3 中世纪伊斯兰世界（公元800—1200年） 317
4 中古与近代欧洲（公元1200—1600年） 424

图版

1 林德数学手卷中之第49—55题
2 给出$\sqrt{2}$精确数值的陶泥板 YBC 7289
3 和毕达哥拉斯定理密切相关的陶泥板 Plimpton 322
4 法国夏特尔座堂“帝皇拱门”上之毕达哥拉斯雕像
5 表现阿基米德被害情境的古代镶嵌画
6 图西《天文学论集》中有关“双轮机制”之页
7 拉斐尔在梵蒂冈使徒宫所作壁画《雅典学院》
8 丢勒的木刻版画《忧郁》
9 锡耶那座堂正门地板上所镶嵌的三威赫墨斯画像
10 汶岛乌兰尼堡的主建筑正面图和鸟瞰图
11 伽利略《星际信使》原稿手迹及望远镜中所见月球表面绘像
12 牛顿在完成《自然哲学之数学原理》之后的画像

前　言

本书以西方科学史为主题，但出发点则是胡明复等中国知识分子在五四运动前后所提出来的大问题：为何中国科学发展落后于西方？此问题从上世纪50年代开始，就由于李约瑟的庞大与深入研究，以及此研究背后的特殊观点，而发生转移。他的观点是：中国传统科技并不落后于西方，甚至还远远优胜之，西方科学超前只是文艺复兴以来的事情。因此真正需要解决的问题是：为何现代科学出现于西方而非中国？在过去大半个世纪，这观点深刻地影响了国人的科学史观念和研究。然而，他的实证研究虽然开拓了宽广的新领域，并且赢得举世学者包括我们在内的衷心景仰，但是他的观点却并不能由是得到证明。事实上，如许多西方科学史家所一再指出，这观点是有深刻缺陷的。我们认为，国人倘若不正视这些缺陷，提出批判，并且开拓新研究方向，那么是不可能对于解决上述问题取得决定性进展的。

本书的观点是：西方科学虽然历经转折、停滞、长期断裂和多次移植，但从方法、理念和内涵看来，它自古希腊以迄17世纪欧洲仍然形成一个前后相接续的大传统，而且，现代科学之出现虽然受外部因素（诸如社会、经济、技术等等）影响，但最主要动力仍然是内在的，即来自这个传统本身。换而言之，现代科学基本上是西方大传统的产物，忽视或者否定这一点，就没有可能了解现代科学的本质与由来。因此，胡明复等所提出来“为何中国科学发展落后”的问题虽然有意义和重要，但是我们必须以对整个西方科学传统的全面和深入了解为基础，才有可能获得真正解答。本书所试图提供的，主要就是这么一个基础，即西方科学的起

源、发展与蜕变，包括此传统与哲学、宗教以及时代背景的互动关系。在完成以上论述之后，我们在“总结”部分讨论了中国与西方科学发展的分野所在，并且对现代科学之所以出现于西方文明的原因提出看法。

本书以西方科学史的叙述与讨论为主体，但原动力与背后意义则在于中西科学发展的比较，所以书中不可避免地要牵涉到一些相互关联的理论问题。为了使读者能够对全书结构有一明晰概念，我们将它的主要脉络以及相关章节在下面列出来。

I　概观与理论部分（导论与总结）

（1）本书的基本概念及主要结论（导论第1节及5—6节；总结8—9节）

（2）李约瑟论题与问题：其历史与批判（导论2—4节；总结6—7节）

（3）西方科学发展与现代科学革命的讨论（总结1—5节）

II　西方科学史部分（第1—12章）

（1）古代科学：包括远古（第1章）、古希腊（第2—5章；§6.1—2；§7.1—6）以及罗马（§6.3—6；§7.7—8）等三个时期

（2）伊斯兰科学：第8章

（3）欧洲科学：包括中古（第9—10章）、文艺复兴（第11章）以及17世纪科学革命（第12章）等三个时期

有关西方科学史部分我们还需要作几点简单说明。首先，古希腊时期在篇幅上占相当大比重，超过此部分三分之一，而近代（16—17世纪）则不足四分之一。这样的分配有两个原因。就时间跨度而言，前者历时七八个世纪之久，为后者三四倍。就重要性而言，希腊科学是西方科学传统的源头（虽然还不是最早渊源），也是西方文明的核心部分，但向来不大为国人所了解与重视。我们认为，不深究希腊科学特别是其渊源，则不可能了解西方科学传统，对现代科学起源的讨论更将流于皮相，因此对这一部分特别着重。其次，伊斯兰时期和中古时期也各占相当篇幅，这同样是出于时间跨度和重要性的考虑。换而言之，西方科学传统中的各个阶段都

不能够忽略，都需要平衡处理。这方面的论述散见第 8—10 各章的前言以及其他有关部分。第三，本书各章节的题材基本上都以人物为中心，并且按时间先后顺序排列，但有需要的时候亦改以学科、问题、历史发展等其他题材作为章节重心，并且不一定按时序排列，这两种结构方式视乎需要与方便结合使用。此外，本书涉及的历史人物数以百计，他们第一次出现的时候，译名后面一般附以原名简称（著名人物则略去），但作为论述中心的时候，则附以原名全称和生卒年份，至于近现代学者则仅附原名。为方便读者检索，第 2，6，8 等数章开头各列出相关历史人物表，书后亦附有译名对照表。第四，本书收录了相当分量的科学史资料，这不仅仅是为作者的观点提供论证，而且，我们希望，对读者也会有参考价值。至于文献征引的简写方式，在参考文献目录前面有详细解释。最后，本书篇幅颇长，所涉题材亦甚繁复，因此书后附列详细索引，以为翻查检索特殊人物、事件、题材之助，幸读者垂注。

导　论

在近代，中国与西方的三次相遇都牵涉科学。17世纪耶稣会士东来，以天文、数学、历算、仪器作为晋身之阶和传教工具；19世纪列强敲开神州大门，所倚靠的是建立在科技基础上的军事力量——当时刚出现的远洋蒸汽军舰，便是这力量的象征；20世纪80年代中国改弦更张，主动敞开大门向西方学习，最终的认识是要以科教兴国。这三次相遇的基调始终是，在两大文明碰撞中，西方凭借先进的科学稳占优势。所以，将近一个世纪之前，亦即新文化运动兴起之际，国人已经在思考这巨大差距到底是如何产生的了。这个貌似简单的问题引起了大量讨论，也导致了多位知名学者的长期研究，然而至今却仍然不能够说已经有令人满意和信服的答案。本书试图从一个长期为国人忽略的角度对此大问题提出新看法，但要充分说明这一特殊角度的意义则必须追溯此问题的历史，这可以从“八年抗战”期间的两件事说起。

一、本书缘起

在抗战最后阶段即1944年12月初，日军曾经自广西向北挺进，占领贵州南部有“小上海”之称的独山，令位于四百余公里外重庆的国民政府大为震动。可是，日军的进逼只是虚惊而已：他们旋即退走，独山最终成为其入侵极限。所以，世事有似重而实轻，也有似轻而实重者，孰轻孰重，当时委实难以判断。就在上述事件之前大约一个月，贵州北边的小镇湄潭来了一位身材魁梧的中年英国人，10月24日晚饭后，他向一群中国

学者发表演讲，随后还与听众作公开讨论。这个聚会在当时不会引起注意，甚至在座学者恐怕也未必能够充分意识到它的意义。那位英国人名李约瑟（Joseph Needham），他是在浙江大学校长竺可桢主持下向“中国科学社”社员演讲，题目为《中国科学史与西方之比较观察》。根据事后自述，此时上距他立志撰写一部“权威性”中国科技史已经多年。这演讲是他初度公开发表自己独特的科学史观点，也是他介入中国科学史研究的开始。他将在十年后崭露头角，二十年后冲击国际学术界，而且影响将不断扩大，以迄今日①。

其实，在上述事件之前30年，亦即五四运动前后，国人已经开始思考中国传统科学为何不发达的问题了。最早就此立说的，是“中国科学社”和《科学》杂志发起人任鸿隽，此后一直到40年代末为止，这问题经常引起讨论，但几乎一面倒都以传统中国科学极其落后甚或阙如为出发点，问题只在于“为何”如此而已。李约瑟在湄潭演讲中则提出了完全不同的见解，十年后《中国科学技术史》（*Science and Civilisation in China*）首卷面世，他以令人震撼的深入研究论证传统中国有大量科技成果，并且进一步对世界科学发展历程提出石破天惊看法。他认为：在公元前1世纪以迄公元15世纪漫长的一千六百年间，中国科技一直超越西方，只是由于文艺复兴以及相关巨变——远航探险、宗教革命、资本主义兴起等等，西方科学才得以一飞冲天，反过来超越中国，从而有现代科学之出现；至于中国何以没有出现类似巨变，则当求之于中西社会经济制度的差异云云。李约瑟在1995年去世，其长达二十余卷的科技史也在2004年大体完成出版，他可以说是穷尽毕生之力，以最宏大视野和最实在工作，在最大可能程度上表扬中国科学与文化的人。因此，他的观点也就顺理成章地为许多中国学者接受——或者更应该说是拥抱。自80年代以来，所谓“李约瑟问题”即“何以现代科学出现于西方而非中国”的问题经常在国内

---

① 贵州湄潭和附近的遵义都是浙江大学在抗日战争中西迁的校区，上述演讲翌日“中国科学社”在湄潭文庙召开年会，李约瑟亦以名誉会员身份与会。以上有关记载见《竺可桢日记》第2册，第789－790页。日军进占独山事在同书第800－805页有记载，当时国民政府已经有命令浙大再度迁徙甚至解散的想法了。

引起热烈讨论，但讨论框架鲜有能超越其思维模式，也就是莫不以他的基本假设——中国传统科技之向来优胜，西方科学之冒起是从文艺复兴开始，双方差异是由外部（即外在于科学本身）因素导致等等，为出发点。因此，严格地说，近三十年来的这些讨论绝大部分只不过是“李约瑟论题”（Needham Thesis）的补充和发展，说不上是“李约瑟问题”的独立研究。

另一方面，西方科学史家虽然对李约瑟宏大的开创性实证工作表示钦佩与尊重，但对于他的科学史观并不赞同，甚至可以说是全盘否定。国人往往将此视为“西方中心主义”的表现，但对于其理据则很少讨论或者深究。李约瑟的工作彻底改变了国际学术界对中国传统科技的了解，这是他为中国文化所做出的巨大而不可磨灭的贡献，国人景仰之余更为之感到自豪，是很自然的。不过，也不能不看到，《中国科学技术史》的众多具体发现与穿插其间的“李约瑟论题”，其实是性质完全不同的两回事情：前者是史料、史实，后者是史观、史识，两者需要清楚分辨，不容混淆。我们认为，虽然李约瑟的科学发展观十分中听，而且有皇皇巨著作为根据，虽然西方科学史家的观点很碍耳，又难免受到“文化自大”的攻击，但两者究竟孰是孰非，其各自的是非曲直又究竟何在，却还是个历史问题，需要以虚心和客观精神去切实考究、判断，而不应该简单笼统地以李约瑟论题为满足。换而言之，我们还是需要重新回到并且认真面对任鸿隽、梁启超、王琎、冯友兰、竺可桢等学者在20世纪上半叶就已经提出来的问题，亦即今日通称为“李约瑟问题”者。这工夫是真正了解中国传统文化以及中西文明分野所必须付出的代价，是西方学者无法越俎代庖的。

我们认为，科学发展是个极其复杂的问题，它无疑涉及社会与经济因素，但是历史、文化因素也绝对不能够忽略，而且可能更为重要，所以现代科学为何出现于西方而非中国这一大问题的探究，不能够如李约瑟所坚持的那样，局限或者集中于16世纪以来的欧洲变革，而割裂于中西双方历史文化自古迄今的长期发展。也就是说，它必须通过中国与西方文化发展历程的整体与平衡比较才能够显露出真相。这样的比较是一项庞大工

程，并非此书或者任何个人所能够承担。我们在此书所尝试的，是简单和卑微得多的准备工作，即对西方科学自古迄今的发展、演变作一综述，然后藉此来从相反角度看李约瑟问题，也就是探讨“现代科学为何出现于西方”。如不少西方科学史家所曾经指出，这是同样重要而且可能更具有潜力的研究方向。

当然，这样的综述牵涉到西方科学史整体，那是个浩瀚无涯的大题目，自19世纪以来已经有好几代淹博学者为此付出无量心血。我们不揣谫陋，也来作这么一个吃力不讨好的尝试，主要有三方面原因。首先，最重要的，是西方科学发展史，特别是其近代以前部分，以及其相关宗教文化背景，是国人所不甚熟悉，也较少注意的领域，而这显然是了解中西科学发展差异所必不可缺少的基础。其次，在这方面的西方著作虽然汗牛充栋，但是它们大多数以古代、中古或者近代为限，至于贯通远古以至于近代，并且论及其宗教文化背景的，似乎还不多见。最后，科学史的专门研究不断进步，其中不少重要发现出现于20世纪下半叶，伊斯兰学者对本身科学与文化的研究之兴起亦是在此时期，这些成果是早期著作如萨顿（George Sarton）的《科学史导论》不可能包括，或者近期著作如林伯格（David Lindberg）的《西方科学之起源》不一定注意到的，因此仍然有待当代学者将之整合于一般性论述之中①。

在此，需要声明，虽然我们认为历史发展的“为何”值得探究，甚至求得有广泛认受性的答案亦非无可能，但这并不等于就认为历史问题可以有确切不移的定案。例如，“文艺复兴与资本主义兴起导致现代科学出现”的论题可能以不少事实作为根据，但我们无论搜集多少资料，难道真就能够将这些整体因素与哥白尼、开普勒、伽利略、牛顿等科学家的思想和工作直接联系起来，从而“证明”他们的发现与商业或者资本主义有必然关系吗？或者更进一步“证明”这些因素比文化因素更为重要吗？从史实、历程来追究、推断原因，总不免是带有若干不确定因素的猜想，而不可能是确切无疑的逻辑推理。此即科技史家怀特（Lynn White）所谓

---

① 以上著作分别见 Sarton 1962 和 Lindberg 1992。

"当然，历史解释绝少像台球的碰撞那样，是关乎狭义'原因'的事情。它往往更像是在所需要解释的事实周围积聚其他事实，以使后者的光芒逐渐照亮前者。最后史学家就会感到，他所关注的主要事实变得可以理解了"。① 在这个意义上，"现代科学'为何'出现于西方"与"现代科学'如何'出现于西方"这两个问题表面上性质迥异，底子里其实是相通的：科学发展的原因与其历程本身不可能完全分割，前者就存在于后者的叙述与分析之中。因此，本书的基本目标在于了解"为何"现代科学出现于西方，实际探讨途径则在于为西方科学兴起、发展、蜕变历程的整体描绘概观，然后通过此概观以及其重大转折的讨论来对上述问题作进一步探究。这探究最后也可能对现代科学为何并非最早出现于中国的问题带来启发。

本书工作是由中西科学发展差异这些基本问题所触发，因此在下面我们必须先行对中国科学落后原因的讨论、李约瑟所产生的巨大冲击，以及中外学术界对他的反响这三方面作出较为详细的回顾，然后才能够进而说明本书的基本观念与整体构思，以及我们所获得的几点主要结论。

二、中国科学落后原因的讨论

严格地说，国人初次感到西方科学冲击是在明朝末年，也就是比五四运动还要早三百年。当时徐光启在利玛窦口授下翻译《几何原本》前六卷完毕，又进一步写成《测量法义》、《测量异同》、《勾股义》等三部书以发扬《几何原本》的用途。他在这些著作中指出，古代数学经典《九章算术》与西方数学"其法略同，其义全阙，学者不能识其由"；"泰西子之译测量诸法……与《周髀》、《九章》之勾股测望，异乎？不异也。不异，何贵焉？亦贵其义也。"这样，中国与西方数学的根本差别，即前者只重程序（即所谓"法"），而不讲究直接、详细、明确的证明（即所谓"义"）这一点，就在中国与西方的近代第一遭相遇中被揭露出来了。可是，徐光启虽然对于西方宗教、数学、天文学心悦诚服，赞叹无极，因

① 见 White 1978，p. 217。

而虚怀接受，悉心研习，却从来没有向他的老师追问《几何原本》的产生背景，或者发愤深究为何中土大儒未能悟出同样深奥精妙的道理。对于他来说，利玛窦的笼统解释“西士之精于历无它巧也，千百为辈，传习讲求者三千年，其青于蓝而寒于水者，时时有之”，而中国学者研究科学者则“越百载一人焉，或二三百载一人焉，此其间工拙何可较论哉”，就已经足够了①。

徐光启心胸开阔，思想敏锐，又笃信天主教，但他深受传统文化熏染，所以仍然仅循老师利玛窦的教导前进，而并没有对远隔重洋的其他方外事物产生好奇，或者动念独立探索中西文化异同。因此，国人初次明确地提出和讨论中国科学落后问题，已经是五四运动前后了。这以1915年1月任鸿隽在《科学》创刊号上发表文章为开端，此后10年间梁启超、蒋方震、王琎、冯友兰等相继就此发表论文，或者在著作中讨论相关问题②。当时和明末一样，中国正处于风雨飘摇，国难方殷的危险关头，但这些思想界领袖人物的心态却迥异于徐光启，因为在西方军事、政治、文化排山倒海般冲击下，他们对于传统文化的信心已经动摇乃至崩溃，所以认为必须转向西方文化精义如科学与民主来寻求救国之道。在此危急情势下，为何像科学这样具有普世价值的学问，在古代中国竟然显得落后甚或阙如，方才成为触动国人心弦的问题。

他们的文章有几个共同特征。首先，它们都很率直、单纯地认为，或者更应该说是假定，中国传统文化是没有科学，或者可以称为科学之学问的，这从多篇代表性文章的题目就可以看出来，例如任鸿隽的《说中国无科学之原因》（1915）、冯友兰的《为什么中国没有科学——对中国哲学的历史及其后果的一种解释》（1922）、竺可桢的《为什么中国古代没

---

① 以上引文分别见徐光启所著：《测量异同》，郭书春主编《中国科学技术典籍通汇·数学卷》（河南教育出版社，1993年），第4－21页；《题测量法义》，《徐光启集》（上海古籍出版社，1984年）上册第82页；以及《简平仪说序》，同书第73页。

② 有关中国科学落后和李约瑟问题讨论的综述，见范岱年：《关于中国近代科学落后原因的讨论》，《二十一世纪》第44期（香港，1997年12月），第18－29页，此文章经收入刘钝、王扬宗2002，第625－643页。

有产生自然科学》（1946），等等。其次，上述文章和散见于像梁启超的《清代学术概论》等著作中的讨论都比较简短，长度大约只有万字上下，因此论证相对简单、浓缩，不可能充分展开。第三，当时中国科学史尚在萌芽阶段，西方科学史虽然已经有很长历史，但由于典籍浩繁，而且新发现层出不穷，因此国人甚至西方汉学家对它的了解都很粗略，甚至可以说是不甚了了。在此背景下，要详细、具体地讨论中国古代科学的特征自然不可能，因为这无可避免需要与古代西方科学发展作比较。因此，上述文章的论断大多近于有待证实的猜想。不过，这并不等于说它们的观点就因此是错误或者没有价值，因为出之于对文化整体深切了解的直觉判断，虽然可能缺乏实证基础，却往往仍然能够切中问题要害，为进一步探索带来启示。当然，要超越猜想而获得确切结果，那么进一步实证工作亦即科学史的系统研究就成为必须的了。

1944 年恰逢“中国科学社”成立 30 周年，因此有关中国古代科学落后原因的讨论再一次掀起高潮。其时浙江大学为躲避战乱迁校贵州遵义、湄潭等地，它集中了多位科学史家，所以成为热潮中心：当年 7 月间浙大心理学教授陈立和数学史家钱宝琮分别发表文章；10 月 1 日《科学时报》在复刊第一期上刊登了德国学者魏复光（Karl August Wittfogel）相关议论的译文；李约瑟则在 10 月 24 日晚间做了有关中国科学的主题演讲。由于他持论独特，因此引起与会科学史家如竺可桢、钱宝琮、王琎等的热烈讨论。1946 年竺可桢在《科学》杂志上发表《为什么中国古代没有产生自然科学》，它的结论是：“中国农村社会的机构和封建思想，使中国古代不能产生自然科学。”这一方面可以视为前述讨论的综合，另一方面则反映李约瑟开始对中国学界发生影响，因为此文已经将社会、经济因素与文化因素并列了。然而，它仍然认为中国古代无科学，这与 30 年前任鸿隽的文章并无二致①。

① 任鸿隽的《说中国无科学之原因》（1915）、竺可桢的《中国实验科学不发达的原因》（1935）以及《为什么中国古代没有产生自然科学》（1946）三篇文章俱已经收入刘钝、王扬宗 2002，分别见第 31 –35，45 –51，52 –62 页。

三、李约瑟及其思想体系

其实，与国人热烈讨论中国科学落后原因同时，西方学者也正在展开有关现代科学革命动力的争论，而这至终将令有关中国传统科学的讨论发生蜕变。本来，自17世纪耶稣会士来华以还，西方对于中国文化包括其发明与技术已经颇有报道和著述，但19世纪中叶科学史研究兴起之后，西方学者大都理所当然地认为，科学是西方文明的特征，在其他文明是不发达乃至不存在的。哲学家怀特海（Alfred North Whitehead）在1925年很自信地说，“中国科学实际上是微不足道的。毫无理由相信，倘若只凭它自己，中国会产生任何科学进步。印度亦复如此”；数年后，德国汉学家也是早期马克思主义者魏复光同样在其著作中讨论“中国为什么没有产生自然科学”[①]。这朴素的“西方中心”观念发生转变开始于荷兰学者萨顿，他在第一次世界大战期间从比利时移居美国，并致力于建立“新人文主义”和科学史研究传统。他创办的科学史期刊《艾西斯》（*Isis*）至今仍享盛名，他所撰的三卷本巨著《科学史导论》（1927年初版）也成为经典，它虽然以西方科学为主，但已经开始注意伊斯兰科学。

20世纪30年代是英国知识分子的“红色年代”，当时李约瑟刚届而立之年，但已经发表了三卷本的《化学胚胎学》（*Chemical Embryology*），从而奠定其在生物化学领域的地位，成为剑桥年轻左翼科学家与国际主义者之中的佼佼者。他深受怀特海与魏复光两位前辈以及历史理论家柯林武德（Robin George Collingwood）影响，但并不接受西方中心主义科学史观，而且当时就已经发表过不少有关政治、社会与宗教方面的言论。他积极参与组织1931年在伦敦召开的第二次国际科学史会议，那成为科学“外史”（external history）崛起的转折点。当时苏联布尔什维克元老布哈林

---

① 怀特海的话见 Alfred N. Whitehead, *Science and the Modern World*, Lowell Lectures 1925, p. 8 (Cambridge 1926)，转引自 Habib and Raina 1999, p. 31。魏复光的文章是其著作 *Wirtschaft und Gesellschaft Chinas* (Leipzig 1931) 中的一部分，由吴藻溪节译发表于其《科学运动文稿》（上海农村科学出版社 1946），嗣收入刘钝、王扬宗 2002，第36－44页。

(Nikolai Bukhalin)率领强大而活跃的代表团参加此会，其代表物理学家黑森（Boris M. Hessen）发表了《牛顿〈原理〉的社会与经济根源》一文，从马克思观点论证，现代科学之出现当以资本主义的需求以及技术发展的带动来解释，这就是著名的“黑森论题”(Hessen Thesis)。它虽然粗糙，但其崭新角度与宏观气魄却深深地打动了不少年轻而有才华的学者，其中李约瑟就是在黑森论题引导下转向研究科学“外史”，即以社会经济制度为科学发展的决定性因素。但对李约瑟思想产生决定性影响的，当是维也纳学派左翼的赤尔素（Edgar Zilsel)。后者是犹太哲学与历史学家，纳粹掌权之后被迫流亡美国，在40年代初发表一系列探讨现代科学根源的论文，其中最重要的是1941/1942年在《美国社会学期刊》发表的《科学的社会学根源》。他的基本论题是：既然现代科学出现于欧洲资本主义早期即16世纪，那么相关的社会结构转变就是其必要条件。这个论断基于以下观察：现代科学的数量方法得自大规模货币商业所需要的计算；至于科学实验之兴起，则是由于学者与工匠、工程师开始紧密接触，从后者吸收了实地测试的方法。在此论题以外，他还提出在不同文明之间作比较的问题：中国同样有货币商业和学者、工匠阶层，那么为什么中国没有出现资本主义，也没有出现实验科学①？赤尔素在1944年自杀，但他的论题则几乎全盘为李约瑟接收，特别是，他认为需要比较西方与中国科学发展的呼吁，事实上决定了李约瑟一生事业的整体方向②。

其实，从1937年抗日战争爆发开始，李约瑟就已经注意中国与中国文化，恰巧同年鲁桂珍等三位中国生物化学研究生赴剑桥求学，向他提出

---

① 有关黑森与赤尔素的论述，见 Floris Cohen 1994，§5.2.2，§5.2.4。

② 有关李约瑟的研究与评论汗牛充栋，但下列两部以他个人经历、思想与事业为主题的论文集可能是最基本的：Nakayama and Sivin 1973；Habib and Raina 1999。关于他早年经历及科学史思想发展历程，见（1）Nakayama and Sivin 1973，pp. 9–21；（2）他长期助手兼私人助理布卢（George Blue）的论述：“Science（s），Civilization（s），Historie（s）：A Continuing Dialogue with Joseph Needham”，Habib and Raina 1999，pp. 29–72，此文章译文见刘钝、王扬宗2002，第516–559页；以及（3）刘钝的论述，包括对“红色年代”和李约瑟国际主义的简介，以及对“李约瑟问题”的评论，见其《李约瑟的世界和世界的李约瑟》（代序），同书第1–28页。

为何中国没有发展出现代科学的问题，这不但刺激他在这方面的兴趣，更勾起他学习中文的意念。根据后来的自述，他翌年就已经立志撰写一部“有关中国文化区之科学、科学思想和技术的系统、客观与权威著作”；赤尔素论文的出现，自然更进一步坚定了他以中国古代科学史研究为终身职志的决心。他在 1941 年荣膺“皇家学会”院士衔，随后珍珠港事变爆发，英国有意加强对中国在科技方面的援助，他遂被授予驻华大使馆顾问与“中英科学合作馆”（Sino-British Science Cooperation Office）馆长并以此身份出使中国。此后三年间他藉公务之便在中国广泛游历，多方结交学者，大事搜集书籍、资料，由是奠定了对中华历史、文化、科技的全面了解①。

李约瑟在 1944 年湄潭大会上所作的演讲无疑是有关中国科学落后原因讨论的转折点。当时他不但直接批驳“泰西与中国学人”所谓“中国自来无科学”的观点，认为“古代之中国哲学颇合科学之理解，而后世继续发扬之技术上发明与创获亦予举世文化以深切有力之影响。问题之症结乃为现代实验科学与科学之理论体系，何以发生于西方而不于中国也”，并且宣称问题之解决“当于坚实物质因素中求答……中国之经济制度，迥不同于欧洲……大商人之未尝产生，此科学之所以不发达也”。这充满自信的宣言绝非心血来潮，而是经过深思熟虑的：它不但吸收了黑森和赤尔素的论题，显然也包含他自“七七事变”以来多年研究和思索的结果。因此，在其中已经出现日后“李约瑟问题”的雏形与“李约瑟论题”的核心了②。当然，此时他还没有任何证据来支撑这独特观点，它还只不过是他湛蓝眼睛中的一点光芒而已。

10 年之后，他与合作者王铃、鲁桂珍等开始发表所撰的多卷本《中国科学技术史》，至 1964 年，此巨著分别有关史地、思想、数学与天文，以及物理学等四方面的前三卷和第四卷第一分册已经面世。这是个划时代

---

① 在此期间他出游 11 次，行程共 5 万公里，访问、接触学术机构近三百所。关于他的中国之行以及与鲁桂珍的关系下列著作有详细叙述：Winchester，2008。

② 引文见李约瑟《中国之科学与文化》，《科学》28 卷 1 期（1945），第 54 - 55 页，并载《湄潭区年会论文提要》，转引自前引范岱年的《关于中国近代科学落后原因的讨论》；有关李约瑟于 1938 年立志撰写中国科技史，见 *Needham 1969*，*p. 190* 的自述。

的贡献，它决定性地改变了中国科学史研究的整体面貌，在这个前所难以想象的庞大实证基础面前，古代中国无科学说似乎已经不攻自破，20 年前他对中国科技的看法至此也得到证验——最少，其有关中国“技术上发明与创获亦予举世文化以深切有力之影响”的论断是如此。至于在湄潭演讲中已经提及的“李约瑟问题”，则除了在此书第一卷第二章“本书计画”中重提之外①，更在 1964 年的一篇论文中“定型”：“我认为主要问题是：为什么中国（或者印度）文明没有发展出现代科学？随着岁月流逝，我对中国科学与社会的了解渐增，就意识到还有第二个最少同样重要的问题，即是：为什么从公元前 1 世纪以至公元 15 世纪之间，中国文明在将人类自然知识应用于人类实际需要的效率，要比西方高得多?”② 此文后来收入 1969 年出版的论文集《大滴定》，成为“李约瑟问题”的经典文本。

在此文本中，李约瑟问题有两个紧密关联、不可分割的部分。第一部分可以称为“中国科技长期优胜说”（这在上述文本中是“第二个问题”）——它以问题形式出现，实质上却属于论断（assertion）。而且，虽然在该论文开头李约瑟只审慎地提到“自然知识”以及中国将之应用于实际需要的“效率”，而完全没有涉及“科学”或者“技术”水平，但文章整体仍然予人以“中国科技水平在公元前 1 世纪至公元 15 世纪远远超过西方”的强烈印象和暗示。而且，在同一讲词的下文，“应用自然知识的效率”就逐渐为“科技水平”或者类似的观念所取代，而讲词结尾更用上了“中国科学和技术在早期（作者按：指 15 世纪和公元前 1 世纪之间）的绝大优势（predominance）”那样的词语③。当然，有了四巨册《中国科学技术史》作为后盾，这种观念上的“滑动”并不显得突兀，甚至好像理所当然。

---

① “为什么现代科学……是在地中海和大西洋沿岸而不是在中国或者亚洲其他任何地方发展起来的呢？这就是（本书）第四部分（即当时计画中最后部分）所要讨论的问题”，见 Needham 1954 -2004，vol. 1，p. 19，作者译文，下同。

② Needham 1969，p. 190.

③ 分别见 Needham 1969，pp. 190，213，217。

然而，现代科学出现于西方是不争的事实，所以“长期优胜说”导致了一个悖论：到底是什么因素使得千余年来那么辉煌的中国科技从世界领先位置陨落，而为欧洲在15世纪以后所决定性地超越呢？既然17世纪之初徐光启对利玛窦所讲授的西方数理科学佩服得五体投地，以至说出“其数学精妙，比于汉唐之世，十百倍之”① 那样的话来，这优劣形势之逆转，到底是如何发生的？这个悖论非常重要，因为倘若孤立地看，则“为什么中国文明没有发展出现代科学？”那样的问题并没有特殊意义，它和“为什么西方文明没有发明火药？”相类似，因此很自然地会受到像席文（Nathan Sivin）那样的尖刻质疑：“它（作者按：指李约瑟问题）类似于为什么你的名字没有在今天报纸的第三版出现那样的问题。它属于历史学家所不可能直接回答，因此也会不去研究的无限多问题之一，而那些问题可以说是无所不包的。”② 然而，倘若将“李约瑟问题”经典文本的两部分合并起来，也就是通过上述悖论来重新表述此问题，那么它的真正意义——不，更应该说是它的巨大挑战性，就立刻显露无遗：“既然古代中国的科技长期领先于西方，那么为何现代科学的锦标却居然为西方夺取？两者高下形势之逆转到底是如何发生的？”它之所以也被称为谜或者难题（puzzle，paradox），原因大概就在于此。

不过，无论将之称为李约瑟问题、难题或者谜，其实都不确切。道理很简单，在60年代的《大滴定》诸文章中，李约瑟就已经对自己提出的著名问题作出明确解答——最少是提供绝大部分答案了。因此，对他来说，此问题并非开放性的“疑问”，而是具有引导性的“诘问”：它的主要作用不在于激发探索，而在于导向他就此问题所已经发展出来，事实上从未曾动摇过的那套基本观念，也就是我所谓“李约瑟论题”者。

那么，“李约瑟论题”有些什么内涵呢？他最初对中国科技史发生强烈兴趣是受到30年代风靡牛津、剑桥校园的马克思主义所激发，因此对

① 徐光启《同文算指序》，《徐文定公文集》卷一。

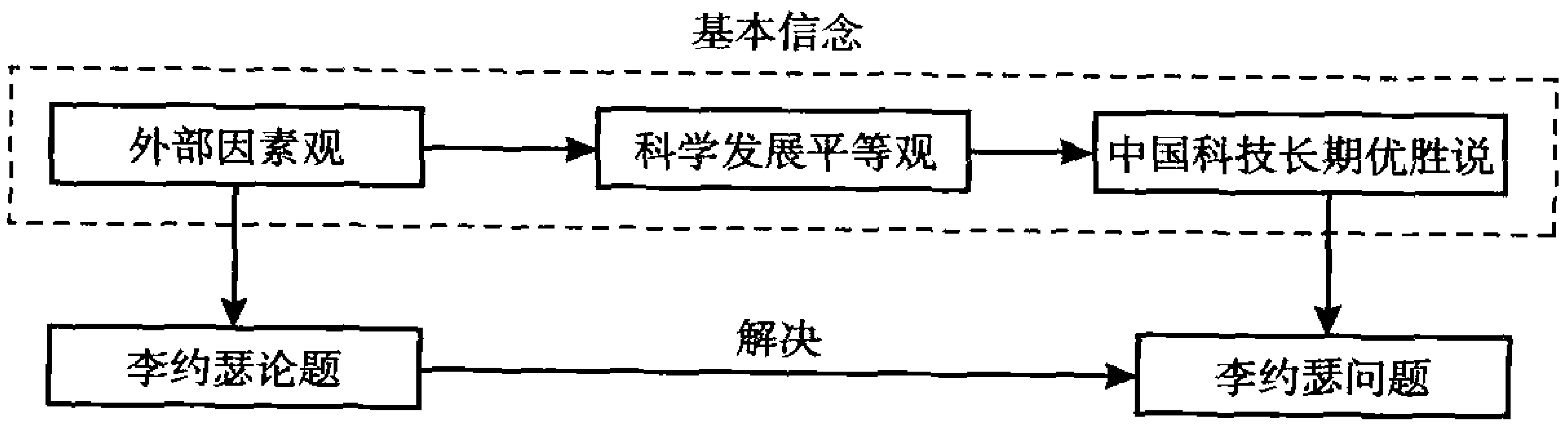
② Nathan Sivin, “Why the Scientific Revolution Did Not Take Place in China—or Didn't it?”, *Chinese Science* 5（1982）, pp. 45－66，引文在p. 51（作者译文）。中译本分别见李国豪、张孟闻、曹天钦1986，第97－112页以及刘钝、王扬宗2002，第499－515页。

于自己所提出来的大问题之解答，也是以不同文明之间的社会经济体制差异为关键。他并不同意魏复光通过“亚洲生产方式”来说明中国科学之所以落后，而认为中国与西方科技水平戏剧性逆转的根源在于：中国历史上高度理性化的“官僚封建体制”（bureaucratic feudalism）阻止了小资产阶级和资本主义出现，西方的“军事—贵族封建体制”（military-aristocratic feudalism）却没有那么坚强，它在15—16世纪亦即文艺复兴时代崩溃了，由是导致资本主义和现代科学的出现。至于后两者之间的关系则是遵循以下思路发展出来：现代科学之出现是由于可控实验的发展，它补足了古希腊科学只崇尚纯粹理论而轻视实用的阙失；而实验科学之所以兴起，则与实用技术受重视和工商业发达有关，亦即是由资本主义的刺激而来。这样，现代科学、实验科学、资本主义、文艺复兴就都紧紧地联系在一起，成为“中国传统社会显示了整体以及科学上的连续进步，但在欧洲文艺复兴之后这就被以指数速度增长的现代科学所猛然超越”的解释。根据这一逻辑，李约瑟问题基本上等同于“何以资本主义是在西方而没有在中国出现”。这用他自己的话可以表达得最确切：“当然，从科技史家的立场看来，中国封建体制与西方封建体制有多大分别并不重要，但两者必须有足够分别（而我坚决相信的确是有足够分别）来解释资本主义和现代科学在中国之完全受到抑制，而这两者却都能够在西方顺利发展。”①

上述“论题”是解释科学发展，特别是现代科学出现的理论。但对李约瑟而言，更根本的，是贯穿其一生的三个基本信念。第一个信念就是前述的中国科技“长期优胜说”，证明此观点成为他一生事业的大方向与巨大原动力。然而，此说只不过是历史现象的叙述，它本身并无意义，而且对其所必然导致的“李约瑟问题”也不能够提供解释。所以，他还需要第二个信念，即现代科学并非由西方文明或者其中的数理科学单线发展出来，它整体之形成犹如百川汇海，是由众多不同民族、不同文明千百年来在许多不同方向所作的努力，点点滴滴积聚而成：“的确，现代科学是由传统世界所有民族的贡献造成，无论是从古希腊或罗马，从阿拉伯世

① 以上两段话引自《大滴定》第六讲，分别见 Needham 1969，pp. 213，204。

界，或者从中国和印度的文化，这些贡献都不断地流注到它里面去。”①这可以称为“科学发展平等观”。但这观点虽然可以彰显中国科学的普世性，却仍然不能够解开他自己提出来的问题。所以，他还需要第三个信念，即现代科学突破之所以出现于西方，绝不能够用种族、思想、文化等内在差异来解释，而必须采取马克思观点，即求之于社会经济制度之不同发展途径这种外在差异。用他自己的话来说：“虽然有不少人愿意接受‘体质—人类学’或者‘种族—精神’之类因素（的说法），但我从头就对于它们的正确性深感怀疑……因此，就科学史而言，我们还得寻找欧洲贵族—军事封建体制……与其他中古亚洲所特有的封建体制的基本差别。”② 这可以称为科学发展的“外部因素观”，“李约瑟论题”就是将它应用于现代科学出现过程的结果。以上三个信念密切相关，互相支持，共同构成了完整、具有强大和广泛解释能力的思想体系。在此体系中“外部因素观”是根本，它切断了科学发展与文化、传统乃至科学家之间的必然关系，由是“平等观”得以成立，“长期优胜说”所产生的悖论也能够通过“李约瑟论题”得到解释。更具体地说，中国“四大发明”虽然重要，但很显然，它们所能够直接影响的并非现代科学之发展，而是16世纪欧洲经济与社会；那也就是说，只有通过“文艺复兴”这一纽带，其他文明与科技对于现代科学的决定性贡献才可能建立起来。这整个系统可以用下列示意图说明。



李约瑟思想体系

---

① 见 Needham 1970，p. 397。

② 此均出于李约瑟 1961 - 1964 年间的演讲，后收入《大滴定》，分别见 Needham 1969，pp. 50 - 51，191。

李约瑟本人在1995年以95岁高龄辞世，将近十年后古克礼（Christopher Cullen）与鲁宾逊（Kenneth Robinson）两位学者根据他所遗留的文稿（主要是撰写于1981年，修订于1987年的一份有关其巨著的"遗愿""Testament"）以及其他资料出版了《中国科学技术史》的压卷之作，即第七卷第二分册《总结与反思》。在那么多学者辛勤将近半个世纪以及十数卷巨著出版之后，我们自然期待此压卷之作对"李约瑟问题"提出更全面和深入的答案，但这样恐怕就难免要失望了。诚然，可能是受到牛津大学克伦比（A. C. Crombie）在1994年所发表三卷本巨著《欧洲传统中的科学思维方式》影响，李约瑟对于希腊科学的作用作出了些微让步，承认中国在发展科学上的最大障碍"可能是，在几何证明的发展上，中国人没有希腊人走得那么远"①。然而，他的基本信念并没有任何变更："总而言之，我相信，中国科学和技术在早期的绝大优胜，以及后来现代科学之单独在欧洲兴起这两者，倘若有可能说明的话，最后都将通过中国与西欧在社会与经济模式上的可分析差异而得以说明"，亦即是：促成现代科学在欧洲出现众多因素中最主要者是"资产阶级在历史上的第一次兴起"，因为"我已经描述过，重商气氛对谨慎与准确地测量、记录和尝试是如何有利——先看这个因素，然后那个因素，再来决定哪个利润更大。这样就有了消除变量的途径，科学方法从而诞生"。而且，书中也没有对于资本主义促成现代科学的过程提出更详细说明："这一过程是如此复杂，所以我们在这第七卷所做的，坦白地说，只不过是对其主要步骤略作提示而已。"② 那也就是说，李约瑟对其著名问题的答案至终没有越出《大滴定》的观点。

当然，在这方面的期待是不实际的，因为决定李约瑟科学发展观的思想体系在湄潭演讲之际已经逐渐形成，到60年代当已完全定型，自此即使有细微修订，大体也不可能动摇了。他从来不讳言，而且一再申明，他

---

① 克伦比的著作见 Crombie 1994；李约瑟的引文见 Needham 1954 - 2004，vol. 7，Pt. II，p. 210，在该页注19中他特地提到克伦比建立希腊思考方式与科学革命的关系这一重要贡献。

② 分别见 Needham 1954 - 2004，vol. 7，Pt. II，pp. 210，229 - 230。

的真正动机与兴趣是在探究中国科技史本身，以及阐扬它的辉煌。如他所坦白承认，他的使命就是彰显非西方以及非机械性科学："我并不是说希腊（科学）荜路蓝缕的奠基工作并非现代科学背景的关键部分。我要说明的是：现代精确自然科学要比欧几里德几何学与托勒密天文学广大得多；在那之外还有更多的江河汇入大海。对于数学家和物理学家，并且可能是笛卡儿信徒的人来说，这可能不中听；但我自己是专业生物学和化学工作者，也多少是培根的信徒，所以我并不认为造成伽利略突破的锋镝就是科学的全部……说力学是基本科学，它也只是同类（科学）中之佼佼者。倘若天体与地上物理学在文艺复兴时代是高举大纛的，它也不能够与还有许多其他勇敢队伍的科学全军混为一谈。"① 柯亨（H. Floris Cohen）将他称为中国科技的"宣教师"（preacher），那应该是相当准确的说法。

四、李约瑟的影响与批判

半个多世纪以来，《中国科学技术史》为李约瑟赢得国际学术界的尊重与敬佩，然而，无庸讳言，虽然这套巨著的宏大气魄令人感到震撼，但它在中国与西方所引起的反应却迥然不同。在中国他广受尊崇，他的思想体系特别是李约瑟论题产生了巨大影响力。这很自然，因为他毕生大业的根本意义就在于，从实践和基本理论两方面来论证科学发明权在人类不同文明之间是平等的，而"中国优胜说"是其具体表现。但在西方，虽然他详细、扎实的开创性实证工作无可非议，其相关推论（特别是有关中国科技对西方科学发展的影响）以及科学发展观则并不为学者接受，而被视为对西方科学史体系的刺激与挑战。当然，要充分阐述、衡量李约瑟在中国与西方所产生的巨大冲击与反响是庞大而复杂的工作，所需篇幅远远超过本节乃至本章规模，但我们仍然觉得需要试图将此问题在这里作一个简略综述。

在 80 年代的改革开放大潮中，传统中国的科学发展问题再度成为中

---

① Needham 1969, pp. 50 – 51.

国学者目光的焦点。1982 年中国科学院《自然辩证法通讯》杂志社专门在成都召开"中国近代科学落后原因"学术讨论会，引起很大反响。在此会上李约瑟思想体系在中国学者之间的巨大影响力充分表现出来。最明显的是"外部因素观"亦即侧重科学"外部历史"，认为它与科学理念本身的发展亦即所谓"内部历史"具有同等甚至更高重要性的观点，几乎被所有与会者接受。在会后出版的论文集《科学传统与文化》之中，共有八篇论文是中国科学落后原因的整体性讨论，其中绝大部分是从社会经济制度立论或者以之为重心。金观涛等的论文试图以"科技结构"与"社会结构"的互动来解释中西科技发展进程的差异，那可以视为全面依循李约瑟科学史观前进的难能可贵之努力。至于其他论文的思路也大体相类似，只是论述比较简单，一般脱离不了"封建主义"、"社会发展停滞"等观念。其中戴念祖说："第一，科学技术不是脱离社会而孤立存在的，它们与别的社会现象有着复杂的关联，它倚赖于社会经济、社会生产力的发展而发展……当我们讨论近代科学为何不发源于中国，或从 16 世纪开始中国近代科学技术如何逐渐落后于西方时，我们当然要从（以上）第一条去探讨这种原因"，那可以说是有代表性的看法①。同样值得注意的是，中国学者对传统科学的观念全盘改变了：20 世纪上半叶风行的"中国古代无科学说"已经为截然相反的"中国科技长期优胜说"所完全取代。金观涛等在上述广受注意的论文中劈头就宣称："今天，任何稍具有科学史常识而又不带偏见的人，都会承认……在历史上长达千余年的时期内，中国科学技术曾处于世界领先地位，并对整个人类文明做出了许多有决定性影响的贡献"，那与《大滴定》中的论断乃至具体用语可以说是如出一辙②。

此后 25 年间李约瑟的工作与"李约瑟问题"在中国科学史界始终备

---

① 见中国科学院《自然辩证法通讯》杂志社编《科学传统与文化》1983。文中提到的八篇论文排在论文集最前面，其中从文化与心理因素立论的只有两篇，分别是叶晓青和刘吉所撰；戴念祖引文见该书第 110 页。

② 金观涛、樊洪业、刘青峰：《文化背景与科学技术结构的演变》，载前注所引《科学传统与文化》第 1－81 页。《大滴定》的论断，见 Needham 1969, pp. 190－217，特别是 p. 217。

受关注，并且经常引起热烈讨论，例如中国科学院自然科学史研究所在万维网上所列出1998—2004年间与此相关论著的条目就多达150项左右，上海还成立了“李约瑟文献中心”。然而，除了少数例外，这些讨论仍然很少脱离李约瑟思想体系的框架，而对此框架本身作整体分析与评论的工作迄不多见。中国科学院自然科学史研究所的刘钝和王扬宗在2002年出版《中国科学与科学革命：李约瑟难题及其相关问题研究论著选》，其中收入涵盖整个20世纪中外学者的有关重要论文30篇，包括西方学者对李约瑟论题提出尖锐批评的数篇，这大体上可以视为国人对此问题的衡平观点与阶段性总结了①。

至于西方学者对李约瑟论题的基本态度，则可以从应该是对他最表尊重、维护，出言也最谨慎的学者口中得知。出身剑桥，以研究中国科技、经济与社会整体关系知名的汉学家伊懋可（Mark Elvin）② 在为《中国科学技术史》“末卷”撰写的序言中坦白承认：“在（此书）第一卷出版将近半个世纪之后，李约瑟的工作还只是有限度地融入一般科学史的血脉之中”，而且“李约瑟从没有解决‘李约瑟问题’；这至今也没有任何其他人做到，最少还不是在众口翕服的情况下做到”，“所以这问题比李约瑟所想，甚至大概比我们大多数人现在所会想到的，都要艰难”③。这话说得很委婉，但含义则再也清楚不过：既然“李约瑟问题”还未有令人翕服的答案，那么李约瑟为此问题所提出的“论题”，连同其背后信念亦即他整个思想体系，就都还没有为西方学者接受；因此，他的工作能够融入科学史血脉的有限度部分，显然并非其理论，而是其大量实证性研究。换而言之，从西方科学史家看来，其巨著的价值只在于其躯体，而非鼓动其发展、成长的精神。

---

① 见刘钝、王扬宗2002，此书共收入有关“中国科学落后问题”的文章24篇，包括在李约瑟问题出现之前的六篇。刘钝在此书中提到中国学者对李约瑟的贬词，亦可视为与颂扬对立的相反意见之一斑，见同书第24页注2。

② 伊懋可早期最重要的著作是 *The Pattern of the Chinese Past*，即 Elvin 1973，此书重心在于从经济与科技的关系来探讨历代王朝兴衰之由，特别是提出自宋代以至明清的大转折在于科技发明停顿，但经济繁荣仍然能够依赖内部发展来维持一说。此书题材与李约瑟的工作有密切关系，但在其大量注释中只偶一提到李约瑟。

③ 分别见 Needham 1954－2004，vol. 7，Pt. II，pp. xxv，xl－xli。

其实，早在70年代前后，西方科学史家对其理论的冷淡态度就已经很明显了。他在1969年出版《大滴定》的时候，已经清楚地意识到同行对他的批判①，1979年到香港中文大学作“钱宾四学术文化讲座”的时候更坦白承认：自己是“同辈中孤独的开拓者”，不为大学中的东方学系或者科学史系所接纳；对于后者的态度，他更直截了当地指为“欧洲中心”、“欧洲自大”情结作祟②。其后数年霍尔（Alfred Rupert Hall）在其专著《科学革命1500—1750》的序言开头提到，李约瑟是他50年代在剑桥初执教鞭时的四位导师之一，但此后在全书中对这位也同样以研究科学革命根源为己任的前辈却再也没有一言半语道及③。1984年《中国科学技术史》已经出版了11册，当时美国历史最悠久的科学史刊物《艾西斯》为此特地组织“书评论坛”（Review Symposia）。资深技术史专家怀特是两位执笔者之一，他说“李约瑟始终紧抱六十年前剑桥学生时代被灌输的观念与看法，从而使得他的工作遇到了不必要的困难”，跟着指出，他的老师布里（John B. Bury）和辛格（Charles Singer）虽然渊博，但却都已经过时，然后得出以下结论：今日科学史家已经没有人像他那样以单线进步的思维方式来看科学发展了，因为有众多交互作用的因素是他们所必须考虑的④。换而言之，李约瑟早年在马克思思想影响之下所形成的科学史观过分单纯，因而到20世纪下半叶就显得僵化过时了。这是相当严厉的宣判，而从《艾西斯》和怀特的地位看来，不得不承认它在科学史界是具有权威性和代表性的。

怀特是从新兴理论诸如库恩（Thomas Kuhn）和耶茨（Francis Yates）的立场来批判李约瑟，至于老派“正统”科学史家与他的对立更为尖锐

---

① Needham 1969, p. 217n. 1，在此他提到合作者普莱斯（Price）和后辈霍尔对他理论的批评，但认为克伦比是同情他的观点的，这在技术层面或许正确，但如下一段引文显示，克伦比的基本观念是与他背道而驰的。

② Needham 1981, p. 7.

③ Hall 1983, p. vii；根据该书索引，李约瑟只在此出现，其他三位导师都另有提及。柯亨称这样的冷淡、忽视为“数百例子之一”，见 Floris Cohen 1994, pp. 424 -425。

④ Lynn White, Contribution to Review Symposia, *Isis* vol. 75, no. 1 (March 1984), pp. 171 -179；引文见 pp. 178 -179。该期《艾西斯》是为庆祝创办人萨顿诞生百周年的纪念特刊，“论坛”另一位执笔者是明清史专家史景迁（Jonathan Spence）。

得多。在1957年精英云集的一个科学史大会上中古科学史专家克伦比明确地说："我应该从开始就说明，我将自然科学视为一种高度精妙的思考与探究，它是只有通过传统才能够学到的……古代巴比伦、亚述(Ashur)、埃及、中国和印度的技术成就虽然惊人，但从学者论述所见，则它们都缺乏科学的要素，即科学解释与数学证明的普遍观念。在我看来，我们所知道的自然科学是希腊人发明的。"李约瑟虽然并未与会，但此言显然与他的论题针锋相对——事实上，在会中另一场合，克伦比就点名批判了李约瑟过分侧重技艺而轻视理论的思想①。曾经与李约瑟一道研究宋代苏颂大水钟的普莱斯（Derek J. de Solla Price）则表现了十分耐人寻味的态度转变。在1959年的公开演讲中他指出：不但以伽利略、开普勒、牛顿为代表的西方科学才是主流，而且只有西方文明才产生了"高等科学技术"，其他文明与社会通过日常生活需要而产生的，只是"类似于背景噪音的低级技术"而已；随后他谈到苏颂水钟的发现，不过跟着又强调，他后来还发现了一个同样复杂、精巧的希腊机械钟，其年代早至公元前1世纪，即在苏颂水钟之前千年②。至于研究计时仪器发展史的兰德斯（David Landes）则更尖刻，在《时间革命：时钟与现代世界之建构》一书中，他从构造原理上论证苏颂水钟没有影响欧洲单摆时计之余，并且将前者断定为没有发展前途的技术"死胡同"（dead end）③。在70年代前后李约瑟有关中国科技成就的大量实证研究逐渐为学者接受，但他所提出的中心问题之意义则受到严重质疑。例如在为李约瑟祝寿的论文集中普莱斯好像已经被李约瑟征服，口吻出现一百八十度转变，不但对他的实证工作赞扬备至，甚至对中国科技也刮目相看，他说："由于他（作者按：即李约瑟）的工作而呈现的，显然是个无论从技术复杂性或者科学

---

① 克伦比言论的征引以及他对于李约瑟的点名批判，分别见 Clagett 1962，pp. 81，68－70。

② 苏颂大水钟是李约瑟与王铃、普莱斯合作研究而发现的，它也是李约瑟论题最重要的证据之一，有关专著出版于1960，见 Needham，Wang and Price 1986。至于普莱斯有关西方科技的论述见 Price 1961，pp. 5，27，有关苏颂水钟和希腊机械钟的论述，见同书 pp. 23－44。

③ 兰德斯的相关论述见 Landes 1983，Ch. 1，此章标题就是《壮丽的死胡同》。

深奥程度来看，都不比我们逊色的文化，它也能够将操控自然的哲学与经验紧密结合起来……毫无疑问，中国科技和西方古代与中古科技一样富有创意，一样好，一样坏。”但他态度的真正转变也只限于对中国技术的评价而已①。

在同一论文集中格雷厄姆（A. C. Graham）一方面批判将科学革命完全归之于文艺复兴时代事件群（complex of events）刺激的说法，认为两者不可能有必然关系；另一方面则指出，诸如“希腊逻辑和几何与印度数字以及代数之相遇、希伯来—基督教的直线时间意识和宇宙立法者意识”很有可能是现代科学出现的先决条件②。这也就是说，传统文化因素仍然是基本的，虽然社会经济因素也可能同时发生作用。在80年代初，曾经与李约瑟紧密合作的席文发表《为什么中国没有发生科学革命——真的没有吗？》一文，总结多年来思考的结果。在此文中，他对“李约瑟问题”的意义也提出了全面和详细批判。除了质疑问题本身到底是否有确切意义（见上文）之外，他还特别指出，宋代的沈括虽然被视为重要科学家，但是他和古希腊、欧洲或者伊斯兰学者并不一样：他心目中其实并无“自然哲学”也就是无科学整体的观念③。这论点的含意，自然就是李约瑟问题之解答仍然不能离开文化观念的差异了。

前面提到的克伦比在1994年亦即李约瑟临终之前发表了他穷30年光阴撰成的三卷本《欧洲传统中的科学思维方式》（*Styles of Scientific Thinking in the European Tradition*），同一年荷兰科学史家柯亨（H. Floris Cohen）发表了《科学革命之史学研究》（*The Scientific Revolution: A Historiographical*

---

① Derek J. de Solla Price，“Joseph Needham and the Science of China”，in Nakayama and Sivin 1973，pp. 9 - 21，此文初次发表是在1968年；引文见该书 p. 17。

② A. C. Graham，“China，Europe，and the Origins of Modern Science：Needham's *The Grand Titration*”，Nakayama and Sivin 1973，pp. 45 - 69；引文在 p. 53。文中所谓“直线时间”被认为与进步观念相关，是相对于循环或者轮回式的时间观念；至于“宇宙立法者”指制定万物必须遵从之法则的上帝，这被认为与自然规律观念相关。以上两者皆被视为希伯来—基督教传统的特征。

③ 见前引 Nathan Sivin 的论文，有关沈括的讨论见原文 pp. 48 - 50。

Enqiry)，这两部巨著都可以视为西方正统科学史家对李约瑟思想体系作出的响应[①]。克伦比并没有直接讨论其他文明的科学：他以30年工夫所建立的，是一部西方科学思想史，藉以显示西方科学传统的博大精深与严谨。柯亨则用了相当多篇幅来具体评论李约瑟和他的工作，包括以下三点严厉批判。首先，李约瑟混淆了科学与技术。其次，他过分夸大中国的科技成就：在柯亨眼中，"我们所见作出这些夸大不实而且缺乏证据之断言的李约瑟"已经成为以宣扬中国科技成就自任的"宣教师"。最后，可能也是最重要的，李约瑟完全没有论证中国领先技术如何传播到西方，以及如何影响西方科技，因此所谓"影响"只能够是猜想、臆测。在详细分析了李约瑟所提出中国对西方科学的五项主要影响之后，他"无可避免的结论"是：由于共同根源于古希腊文明传统，西方的确从伊斯兰文明吸收了重要的科学成果，而这对现代科学革命是有影响的；但"西方好像并没有从遥远的中国得到很多：这部分是由于'翻译过滤'效应，部分是由于中国和西方的自然哲学不相容"。[②]

总而言之，李约瑟论题与他的思想体系不仅见之于专著如《大滴定》，而且贯穿、散布在他大量实证性研究，亦即《中国科学技术史》之中，其整体对于西方科学史界产生了前所未有的巨大冲击，也引起了态度相当一致的反应，即尊重、肯定其具体实证研究，但严厉批判其推论之空疏与有欠严谨，也就是上文所谓贵其躯体，弃其精神。这与中国学者之几乎无例外地都在接受他基本观点的前提之下来讨论"李约瑟问题"，自然是完全不一样的。

---

① 分别见 Crombie 1994 与 Floris Cohen 1994。当然，这两部著作各自有其目标，绝非单纯为响应李约瑟而作。

② 柯亨有关李约瑟以及非西方文明对现代科学之贡献的论述，见 Floris Cohen 1994，§6.3–6.6；至于他对李约瑟的三点批判以及相关引文，则分别见该书 pp. 427–429，437，429–437。关于伊斯兰文明对西方科学的贡献，包括所谓"翻译过滤"效应（即虽然中国与伊斯兰文明在历史上有许多接触，但中国科技却没有通过后者的翻译中介作用而传递到中古欧洲），见同书 pp. 429–431；至于柯亨对李约瑟所提出的五项影响之批判，见同书 pp. 431–439，引文在 p. 438。

五、本书基本观念

在上述两种对立科学史观的大背景之下，现在让我们提出几点基本观念，藉以明确本书的撰述原则。首先，在我们看来，历史发展是极其复杂的过程，它受众多因素决定，其中包括集体因素，即社会、技术与经济结构，但个人因素例如其思想、禀赋、能力、际遇，以及文化因素例如哲学、宗教等等，亦同样甚至更为重要。而且，如怀特所曾经举例详细论证的那样，这些因素交错影响，互为因果，其作用往往不可能简单预料①。政治、军事、经济、宗教、文学的历史发展是如此，科学亦不例外。因此，新兴的科学“外史”固然是有价值的研究角度，但这绝不构成忽略乃至实际上否定传统“内史”的理由：科学发展的整体动力还得求之于两者之间。事实上，“内史”亦即科学家与他们思想、发现的研究毫无疑问仍然是科学史的核心，而“外史”所侧重的社会、经济、技术等因素对科学虽然可能有影响，但却是间接、不确定与辅助性的，因此绝不可能取代“内史”。个别学者的研究尽可由于个人兴趣、注意力不同而有所取舍、偏重，但这不应该影响对于两者相对比重的判断。

其次，历史有可能出现突变，亦即发生所谓“革命”，但基本上仍然是连续的，也就是说，即使在急速变化过程中，“传统”力量仍然有不可忽略的作用。所以科学发展的探讨需要顾及长期历史背景，而不能够局限于特定时期。这也就是说，科学前进的动力必须求之于“革命”与“传统”两者之间的张力与交互作用。举个最明显的例子：16 世纪文艺复兴虽然是现代科学出现的前奏，但它本身却不能够仅仅从战争“火器化”、海外探险、早期资本主义兴起等一连串近期社会经济变化来了解，因为倘若忘记了 12 世纪的拉丁翻译运动和 13 世纪的大学兴起，那么 15—16 世纪的欧洲学术便不可能真正理解，只能够笼统地视为错误的“亚里士多

① 怀特是以欧洲宅邸室内火炉构造的改进，来论证其所产生的完全出乎意料的社会阶级分化。见前注所引怀特在《艾西斯》所发表文章的 pp. 173 - 175。

德传统”。但这样一来，哥白尼在天文学上的先驱像波伊尔巴赫（Peuerbach）和拉哲蒙坦那（Regiomontanus），或者伽利略在动力学上的先驱像布里丹（Buridan）和奥雷姆（Oresme），或者笛卡儿、牛顿在光学特别是彩虹研究上的先驱维提罗（Witelo）和西奥多里克（Theodoric）等等的工作，就将全部被忽略。因此，将文艺复兴与它之前的“中古”割裂开来是个错误，这样是没有可能求得现代科学出现过程之真谛的。

历史不但有连续性，而且还有整体相关性（global connectivity）。那也就是说，对任何主要事件或者重大发现发生影响的，不仅仅是在其前一百数十年的“晚近”历史，还有在此之前的全部历史。例如，从15世纪开始的“希腊热潮”同样是产生文艺复兴精神的要素。忽视了这根源远在古希腊罗马时代的热潮，那么贯穿整个16世纪的魔法与炼金术运动、柏拉图主义之高涨，以至古希腊数学典籍的研究与大量翻译，等等，都将成为不可解。而有许多实证研究显示，从哥白尼以至牛顿，其思想、工作都深受此热潮影响。历史之所以有整体相关性，亦即历史上发生过的事情之可以影响到千百年后的世界，是通过“文化”这载体所产生的“远距离作用”。因此，就科学发展的探讨而言，哲学、宗教以及科学本身的传统等文化因素是具有中心地位的。我们认为，虽然科学的“外史”往往被赋予狭义解释，即局限于社会、经济制度，但相关文化领域，诸如哲学和宗教对科学这种智力活动的影响其实更大、更直接。因此，对这种影响的探讨其实同样构成“外史”的一部分——当然，这样一来，所谓“内史”、“外史”之分也就根本失去意义了。

第三，本书以数理科学即数学、天文学、物理学等可以量化的科学为主，实际上完全没有涉及化学、生物学、医学等领域，或者农业、建筑、运输、航海等应用技术。它在若干处顺带提到机械学、医学和炼金术，可以说是少数例外。这样的选择既有实际考虑，也有更为根本的原因。实际考虑很简单：篇幅上的限制使得其他众多领域的深入讨论成为不实际。至于更根本的原因也众所周知，那就是：现代科学的出现毫无疑问是通过数理科学，即开普勒、伽利略、牛顿等的工作获得突破，而且此后300年的发展显示，现代科学其他部分也莫不以数学和物理学为终极基础。例如，

18—19世纪发展的化学，最终得用20世纪初发现的量子力学阐明，生物学则要通过19—20世纪发展的生物化学和20世纪中叶发现的生物分子结构才能够获得充分解释，等等。当然，物理规律作为一切科学基础的观念，反映了所谓“化约主义”（reductionism）立场，这在科学哲学上不无争议。我们在此不可能讨论这一争议，而只是要指出：现代科学在过去三百多年发展的途径，的确是以数学和物理学为先锋，然后扩展到化学，最后扩展到生物学，而且后来者总是踏在先行者奠定的基础上前进，而不能够另辟蹊径；至于物理天文学、地质学、气象学、宇宙学、环境科学等更高层次领域的发展，也同样不能够脱离此模式。当然，有人认为，西方科学发展的途径不一定是独特的，通过其他方式，例如生物科学或者医学也同样有可能发展出高等科学——李约瑟就曾经表达过这种观点。我们认为，这种可能性诚然不应该抹杀，但它与本书所讨论的“为何现代科学出现于西方”的问题并没有直接关系，因为这里所谓“现代科学”指的是人类当今实际上共同研习，以理论物理学为最终基础的科学，而并非其他“可能的”科学。因此这类问题是属于另外一个范畴的探究，而不必在此讨论①。

当然，在今日的所谓“后现代”时期寻找历史发展脉络，亦即所谓书写“大历史”的企图被认为是非常可疑，乃至徒劳无功的，因为其结果总是时时处于被新证据、新发现或者新观点、新诠释所颠覆的危险之中。这无疑已经成为所有历史探究所无法回避的风险，科学史并不例外。不过，在我们看来，这种风险毋宁是个警告——要尊重历史解释之限度的警告，却并非在我们所希望探究的领域外面逡巡不前，甚至反过来全盘否定原来出发点意义的借口②。正如本章开头就已经提到过的，这意味我们

---

① 在我们看来，这样完全不同形态的科学的确可能存在：中医学就可以视为其典型例子，因为它是建立在大量实践经验之上，而且完全没有数学或者量化推理基础，但又的确证明在某些方面是具有独特实效的。

② 例如 Lloyd and Sivin 2002，xii－xiii 就强调：现代科学之出现是多个文明相互影响、融合所致，而非希腊科学单线发展的结果。但在我们看来，“单线发展”固然是过分简单化，但西方科学发展自古希腊以迄近代仍然有清晰脉络可循，其中伊斯兰与中古科学都并非完全独立，而是此脉络与传统的一部分。

必须认清：本书书题中的“为何”和“地球上为何有昼夜和四季”的“为何”在性质上完全不一样，它们所期待的也是不同性质的回应。后者所寻求的，是肯定、明确，可以详细与反复验证的答案；但对于前者那样一个宏观和综合性问题，我们所能够期望的，基本上只不过是认清主要相关事实，按其先后轻重胪列出来，然后提出若干假设、观察和看法，以作为进一步考察的基础而已。

最后，我们深深意识到，本书的中心问题早已经在西方学界被反复研究和争论过多时了。我们在上文提到黑森、赤尔素和李约瑟等一脉相承的论题，即现代科学的根源在于社会—经济制度变革。此问题的简短全面综述见霍尔于 1983 年出版的《科学革命 1500—1750》。他在该书第一章对同一问题所产生的各种观点作了简短的回顾与评论。在“外史”方面，这包括上述自马克思主义出发的社会根源论，以及自社会学分析出发，颇接近于韦伯论题的新教根源论；在与文化有关的因素方面，除了上述 15 世纪“希腊热潮”以外，他还讨论了库恩的范式转移论、迪昂（Pierre Duhem）与克伦比的中古根源或曰延伸论、耶茨的新柏拉图主义—赫墨斯思想—魔法运动根源论、史密特（Charles Schmitt）所提出的科学在大学以外发展之重要，等等。他的看法是，所有这些观点都有相当道理，但也不可能为现代科学革命提供全部解释：“现代早期欧洲的科学发展并没有独一无二的原因，因为欧洲文明每一方面都可以论证对它有促进作用。”①在此问题上的另一部重要著作是上文提到的柯亨的《科学革命之史学研究》，那是自康德（Immanuel Kant）以来两百余年间有关科学革命研究的详尽历史与分析，从中可见，科学革命的众多方面和可能原因都几乎已经为哲学家、历史学家和科学史家所注意和讨论过了。

本书在这方面的观点将留待以下相关章节和最后的“总结”中阐述，但有三点是需要在此先行说明的。首先，从上面提出来的基本观念读者当已觉察，我们并不接受赤尔素和李约瑟的基本论题。在我们看来，社会—经济变革虽然对于科学发展不无影响，但将现代科学这样基本上属于思想

---

① 见 Hall 1983，p. 36。

与智性的活动完全或者主要归因于社会因素，则颇难令人信服。这看法在霍尔、柯亨和不少其他科学史家的著作中论之已详，上文也多次提及，这里不再重复。其次，我们认为伊斯兰科学是了解现代科学出现的重要关键，这不仅仅因为它是欧洲中古乃至早期现代科学的前身，并且对诸如哥白尼的工作有直接影响，更因为它在15世纪的停滞和衰落与西方科学恰恰形成强烈对比，故此两者的比较可以为后者的蜕变提供新的视角与线索。近二十多年来出现了不少这方面的研究和讨论，其中如萨伊利（Aydin Sayili）、马克迪西（George Makdisi）和沙理巴（George Saliba）等学者都提出了相当深入的看法，本书以专章论述伊斯兰科学即是为此之故。

最后，中国与西方的比较自然是我们所最关注的问题。但这两个文明的基本倾向或曰精神相差极远，它们之间的枝节比较，其实并没有太大意义，甚至反而会产生误导作用。因此本书所致力的，将是西方数理科学整体发展的具体论述，至于中西科技发展史的比较则非本书重点所在：这方面我们只在“总结”部分作几点初步观察。当然，李约瑟早已经宣称他是不相信以所谓“种族—精神”亦即文化因素来解释科学发展的了，但在这一点上怀特所说的“文化特征都是坚韧不拔的”也许更能够为人信服吧。无论如何，仅仅通过抽象讨论显然不可能在诸如“现代科学为何出现于西方”那样庞大、复杂、基本的问题上取得实质进展。怀特不也说么：“要反对像李约瑟那么强有力头脑所长期执著的基本信念，那么通泛地陈述相反见解是没有价值的：只有事实才管用。”[①] 旨哉斯言！本书所要呈献于读者之前的，基本上便是事实。

六、整体构思与主要结论

有关本书的整体构思，我们需要作以下说明。首先，本书论述虽然以科学本身为主，但它与哲学、宗教、神学的关系有根本重要性，所以也占相当篇幅，因为西方科学是和它的文明同步发展，密切结合，无从分割

① 见前注所引怀特的《艾西斯》文章，pp. 177，175。

的：事实上它就是西方文明大传统最核心部分。我们难以想象中国没有孔孟、老庄、程朱、陆王，当然也不可能将西方文明与柏拉图、亚里士多德、大阿尔伯图（Albertus Magnus）、阿奎那（Thomas Aquinas）分开。但上述中国圣哲大部分与科学无关，西方哲学却以“自然哲学”为开端，西方圣哲在哲学家、神学家身份以外几乎毫无例外，也都兼有科学家或者科学倡导者、发扬者的地位。这种文化传统的分野，是了解科学在两个不同文明中发展差异的关键。

其次，西方科学传统可以分为古希腊科学（公元前550—公元550）、伊斯兰科学（750—1450），以及欧洲科学（1100—1700）等三个主要时期；而且，在此之前，它还从埃及以及两河流域这两个远古文明承受了公元前1600—1900年间发展出来的重要科学成果。对应于以上三个时期，本书也可以分为三大部分：（1）古代科学，包括其前期即埃及巴比伦的远古科学（第一章）；其主体即希腊科学（第二至七章）；以及它的后期即罗马科学（第六至七章的部分）。即使略去前期不计，这部分的时间跨度也达到千年以上。（2）伊斯兰科学（第八章），时间跨度七百年（750—1450）。（3）欧洲科学，包括中古（第九至十章）和近代（第十一至十二章）两部分，时间跨度同样是七百年（1000—1700），而且和第二部分有四百多年交叉重叠。我们力图在以上三部分之间，以及在各个不同阶段之间，维持篇幅上的大体平衡，不过，科学发展在亚历山大时期和近代特别旺盛及迅速，相关资料也更丰富详细，所以很自然地也占据了更多篇幅。

还需要说明的是，近代史中所谓“西方”仅限于欧洲，至于埃及、巴勒斯坦和两河流域则笼统地称为“东方”。这无论就地理、文化、语言、宗教等各方面而言，好像很顺理成章。但倘若真是这样划分的话，上述科学传统自然也就要割裂成多个不同部分了。而且，它更将抹杀、割裂希腊—罗马、埃及、巴比伦多个文明之间的紧密关系，使得像起源于巴勒斯坦的基督教之传播和扩散、亚历山大大帝和罗马帝国对于中东、埃及的政治和文化冲击，乃至科学发展核心在亚非欧三大洲多个不同区域之间转移等现象，都成为难以索解的跨文明事件。由于上述多个文明互动关系的频繁和重要性，我们认为就直至17世纪为止的科学发展而言，广义的，

包括欧洲、埃及、北非、巴勒斯坦、两河流域，乃至伊朗、中亚等区域的“西方”观念才是最合理，也最有实用价值的①。历史上，在上述广大地域始终有多种不同语言、文化、宗教和政体互相竞争，亦复长期共存，它们所构成的，是具有多元（pluralistic）和异质（heterogeneous）形态的文明共同体，其组成部分能够长期保持其个别性，但彼此之间又不断发生强烈互动和重要影响。我们将看到，西方文明的多元、异质、割裂形态对于其科学发展有决定性影响，故而也是了解其发展的关键。因此，本书采取最广义、最包容的“西方”观念，可以说是由其题材的特征所决定的。

那么，从上述的基本观念和架构出发，本书的探究至终导致了怎样的结果呢？概括而言，我们将试图显示：西方科学是一个历时悠久，覆盖宽广，然而并无固定地域中心的大传统，现代科学则是它经过两次革命性巨变之后的产物。换而言之，西方科学具有四个特征。首先，它的历史极其漫长，其源头可以一直追溯到公元前18世纪，即现代科学出现之前3500年，而且在此期间它虽然曾经有转折、断裂，却仍然形成一个先后相承的传统。其次，它的发展中心并非固定于特定地域或者文化环境，而是缓慢但不停地在欧、亚、非三大洲许多不同地点之间转移。第三，西方科学传统与宗教之间有着极为密切的关系：西方科学发端于希腊科学，那是在我们称为“新普罗米修斯”的毕达哥拉斯所创教派之孕育、鼓舞、推动下成长；而且，即使到了17世纪，宗教精神与向往仍然是诸如开普勒和牛顿那样主要科学家背后的基本动力。当然，科学与基督教的关系十分复杂，可以说是长期摆动于紧张与融洽之间，但两者形成鲜明对立乃至分道扬镳，则是现代科学出现之后半个世纪，即18世纪启蒙运动时期的事情了②。最后，西方科学在观念和思维模式上曾经发生先后两次翻天覆地的巨变，亦即所谓革命：第一次是我们在下面提出来的“新普罗米修斯

① 至于印度没有包括在此“西方观念”以内，则是因为它虽然可能对希腊和伊斯兰文明也产生过相当影响，但由于资料缺乏，探究颇为困难，所以从略。

② 以上各观点本书作者经在1997年初步提出，见《为什么现代科学出现于西方?》，《二十一世纪》第44期（香港1997年12月）第4－17页，此文嗣收入陈方正2002，第557－585页。

革命”，它开创了古希腊科学；第二次则是开创现代科学的17世纪牛顿革命。如下文所显示，牛顿科学在多个层次上都可以视为既是“新普罗米修斯”传统的继承，亦复是其叛逆。需要强调的是，以上四个特征并非各自独立，而是密切相关的。特别是：其中心的不断转移正是西方科学传统一方面能够长期发展，另一方面却会出现革命性巨变的缘故，而其所以有此“中心转移”现象，则很可能是由特殊地理环境造成。

我们认为，以上四个特征，即西方科学大传统历时之悠久，其发展中心之多次转移，其与宗教的极其密切关系，以及革命性巨变在此传统中之出现，是它最终能够蜕变为现代科学的主要宏观原因。本书千言万语所要致力说明的，就是这几点事实。

第一章　远古科学传统

第一次世界大战结束的时候，意大利战俘营中有两位奇特的年轻人：一位是最终成为言语逻辑学大师的奥地利人维根斯坦（Ludwig Wittgenstein）；另外一位则是未及弱冠的德国人奈格包尔（Otto Neugebauer），他后来研究古巴比伦陶泥板上的数学符号，于 1929 年向欧洲学界作了一个令人震惊的宣布："就算不谈应用于三角学和梯形的数式，我们还是见到复杂线性方程组的建构和解答，和巴比伦人有系统地表述二次型问题，并且肯定知道解法——而所用的计算技巧和我们的全然相当。"① 换而言之，远在公元前 1800—前 1600 年间，也就是相当于中国夏代，两河流域文明就已经产生能够系统地解决二次方程式的数学了！这个意想不到的发现大大扩展了西方学者的视野，迫使他们将自己的科学传统向古代推前一千三百年，即是从古希腊推到古巴比伦。所以，我们追寻西方科学的源头不但不能够止于文艺复兴，甚至也不能够止于古希腊，而必须从远古文明开始。

当然，西方远古文明不但有巴比伦，还有埃及：古埃及同样出现过将近有四千年历史的数学文献，这就是 19 世纪中叶发现的草纸（papyrus）数学手卷，其上所记载的算题虽然不如巴比伦数学之丰富、全面和先进，但同样显示了令人惊讶的成就，例如准确至 0.6% 的圆周率，和截

① 此宣布见于奈格包尔 1929 年在其新创办的科学史期刊上所发表之文章，转引自 Høyrup 2002，p. 2。

锥体的正确体积公式。远古文明所遗留下来的这些无可置疑的原始资料证明，希腊数学虽然高妙令人赞叹，但它并非凭空出现的“奇迹”，它背后是有非常久远和渊深传统的。我们在本章所要讨论的，便是这远古科学传统的具体内容，但在此之前，还需要先对这些远古文明的历史、社会与文化背景作一概述，至于它和古希腊文明的关系，则留待最后一节讨论。

一、远古文明轮廓

埃及与两河流域这两个远古文明同时起源于公元前3000年，它们大致上也同以公元前1000年（即埃及新王朝与亚述中期帝国结束）为下限①。此后千余年间东地中海区域为相继兴起的巨型帝国所征服，因而逐步趋于混同。这以征服中东和埃及（公元前664）的新亚述帝国为开端，以继起的波斯帝国（公元前550—前330）随其后，它激发了亚历山大大帝的东征和三个后继王朝的建立，最终则归于罗马帝国的大一统（约公元前30）。远古文明的科学文献主要属于公元前1900—前1600年时期，而古希腊科学的萌芽最早却只能够追溯到公元前550年左右，两者在时间上相隔千年以上。因此，两者之间关系是相当微妙的问题，这将留到本章末了讨论。现在我们先为古埃及和两河流域长达两千年的历史描绘一个最简略的轮廓。

尼罗河畔的世界

埃及是个庞大而稳定的国家：在整整两千年的漫长岁月里，它虽然经历多次外族入侵和主权更迭，但大体上都能够维持文化认同，以及在绝对王权下的政治一统。这和它的半封闭地理环境有本质关系——它的西边是

① 有关远古文明历史概况，本书主要根据下列著作：（1）近东（包括埃及与两河流域）的整体历史：Kuhrt 1995；Freeman 1996。（2）埃及：Gardiner 1966。（3）两河流域：Kramer 1963；Woolley 1965；Van de Mieroop 2004。至于希腊与远古文明关系的考证、讨论，则见 Gordon 1962；Burkert 1992；West 1997。

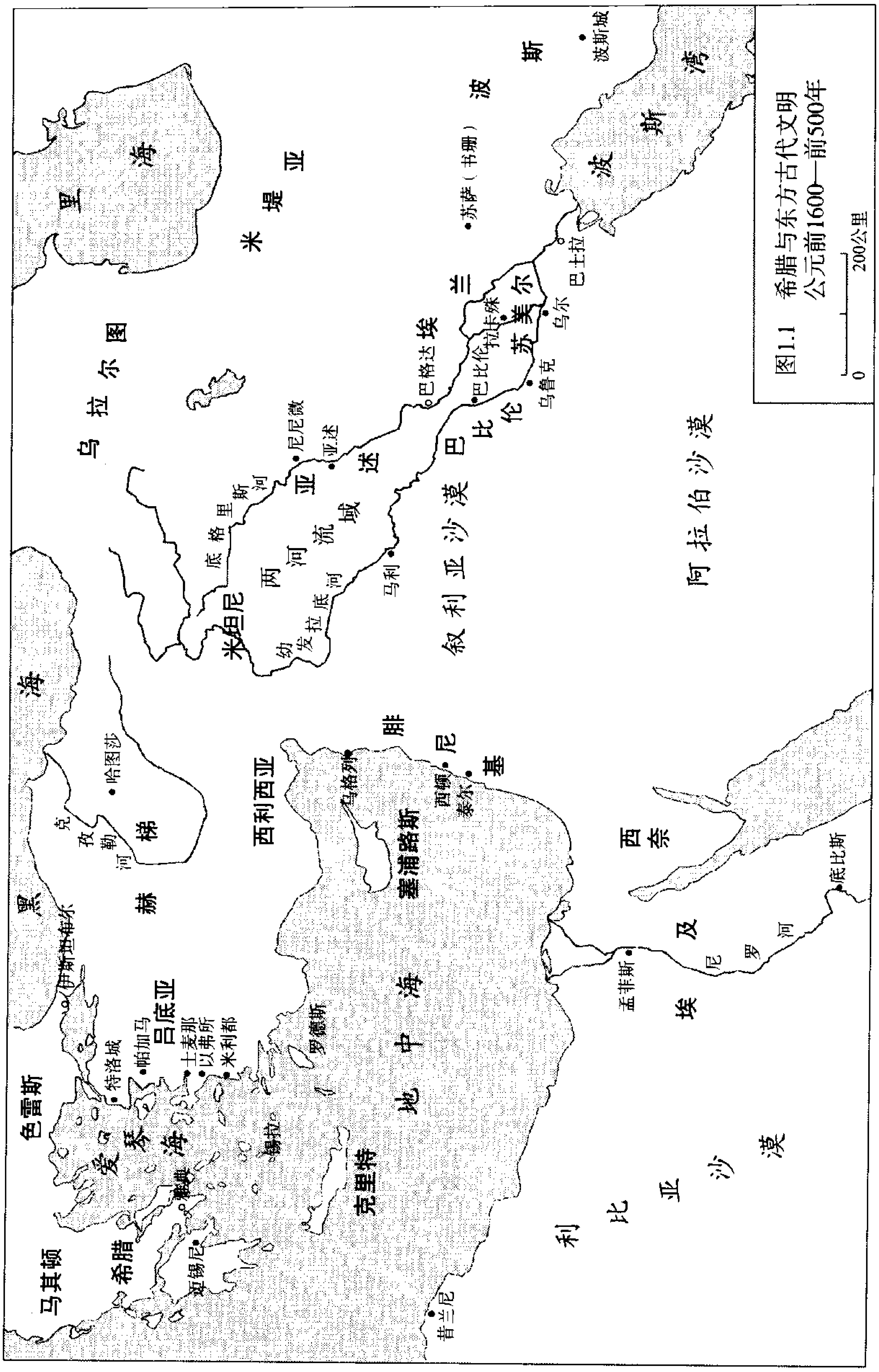


图1.1 希腊与东方古代文明
公元前1600—前500年

大沙漠，北边是海，南边是崎岖高原，东边是沙漠、山岭和海的组合，只在东北有干旱困阻的对外通道。它的这些地理特点和西方其他文明——巴比伦、希腊、罗马截然不同，甚至恰恰相反。就这一点而言，它在西方文明中是独特的。但对于中国人来说，这些却再也熟悉不过，因为传统中国同样具有半封闭地理环境、稳定文化认同，以及大一统的王朝政治。

和中国不同的是，埃及非常幸运，从最早期开始，就留下了大量文字记载，包括刻在石头上的象形文字（hieroglyphic），以及写在草纸上的僧侣行书体文字（hieratic glyph）和大众体文字（demotic glyph），其性质遍及碑记、历史、叙事、训诲、教材、文学作品、税收和其他行政、管理档案。在干燥的沙漠空气中，特别是在牢固和密封墓室里面，有大量这类宝贵记录完整地保存下来，因此它由祭司曼尼韬（Manetho）编纂的传世帝王古史可以从多个出土文献得到印证，这包括现存西西里的巴勒莫残石（Palermo Stone）帝王纪事碑（公元前 2400）、现存都灵的草纸本帝王表（Turin Canon，公元前 1300），以及稍后一百年左右的塞卡拉墓刻碑（Saqqara Tablet）；至于其各个时代的具体状况，则可以从大量的纪功碑和大臣、总管的墓室自叙和诏令抄录而得以考究。上文提到的“数学手卷”属于草纸本数学教材和计算纪录，它十分稀罕，却为当时不那么受注意的文化面相提供了确实证据。

从这些纪录得知，“王朝早期”（公元前 3100—前 2686）是埃及从众多独立小邦融合成为一统政治体的时期，在其间它发展出交错盘结的文化、生产、政治和宗教体制，这包括：以上述两种字体书写的文字、在尼罗河周年泛滥所带来的肥沃土地上的农耕，还有以法老（Pharaoh）绝对王权为中心的层级化官僚体系、多神崇拜、死后的复活与永生追求。当然，最重要的是与王权紧密结合的宗教体系，这包括众多和繁复的祭典、庞大和复杂祭司组织，以及神庙、陵墓、金字塔等硕大无朋建筑。这样，强有力的一统王朝遂首先在南方的“上埃及”即底比斯（Thebes）一带出现，其后它吸纳了北方的“下埃及”诸邦，并且为统治需要而将行政中心向北迁移到尼罗河三角洲顶端的孟菲斯（Memphis），从而迎来了“旧王朝”，为埃及的历史时期揭开序幕。

表 1.1　古埃及历史分期

时期	年代（公元前）	王　朝	简　述
王朝早期	3100—2700	第 1—2 王朝	各部落整合成为统一王国
旧王朝时期	2686—2181	第 3—6 王朝	上下埃及统一和基奥辅三个大金字塔的建造
第一间断时期	2180—2040	第 6—11 王朝	上下埃及分裂和斗争时期
中王朝时期	2040—1720	第 11—12 王朝	第 12 王朝为埃及古典时期的高峰，林德手卷原本即撰于此王朝。约相当于夏代
第二间断时期	1720—1550	第 13—17 王朝	赫索斯外族统治时期，林德手卷现存本即抄写于第 15 王朝
新王朝时期	1550—1087	第 18—20 王朝	驱逐赫索斯族人以及对外武力扩张。大致相当于殷商时期，以及希腊史前的特洛战争时期
王朝后期	1087—332	第 21—31 王朝	为外族以及亚述帝国、波斯帝国所先后统治，以迄为亚历山大大帝所灭。大致相当于西周和春秋战国时期，以及希腊历史时期

古埃及历史前后跨越三千余年，包含 31 个王朝，共分七个时期，表 1.1 为它的进程提供了一个梗概。这历史值得注意的有以下几点。首先，如今仍然矗立的三个基奥辅（Cheops）巨型金字塔建造于旧王朝早期，也就是说王朝的宗教信仰、政治控制和技术力量从头就已经高度发展。其次，近年研究显示，和以往印象相反，王朝虽然需要动员大量民众来实施庞大建造工程，但这并非以高压奴役手段执行：在工地上不但民众的生活得到照顾，而且经济上市场贸易也还在起相当作用——否则，如此庞大的建造体制不可能持久。第三，尼罗河农业虽然是埃及经济的核心，但它的采矿、冶炼、对外贸易也同样重要，不可忽视。第四，从旧王朝以至中王朝和新王朝，埃及的体制、组织和经济、军事力量并没有停滞，而是一直在持续扩展、壮大。因此到了新王朝它开始有能力越过西奈半岛，向巴勒斯坦扩张。但很可能亦正是这种扩张触发了亚述、波斯、希腊和罗马这些新兴力量的先后入侵和占领，从而导致它作为一个独立文明的衰亡。此外，我们得强调：在希腊进入历史时期（这大致可以以奥林匹克

竞技在公元前776年开始为标记）之际，古埃及已经进入王朝后期，也就是接近尾声了。因此古希腊哲人、历史学家仰慕其历史之悠久，蕴藉之深厚，是非常自然的。最后，埃及所最令人感到神秘、震撼之至的事物——金字塔、木乃伊、神庙等等，显示在追求永恒生命的强烈欲望驱使之下，人可以发挥如何巨大力量。而这种欲望和力量也可能是了解其他文明现象的关键。

断裂的两河流域文明

两河流域文明和古埃及文明表面上颇为相似：两者都是以大河为中心的农业文明，同样出现了高度集权的一统王朝和强大宗教力量，两个文明同样古老、悠久，都延续到亚历山大大帝时代，才为马其顿（Macedonia）和罗马帝国所先后吞并。然而，它们其实有深层差异，最根本的，就是埃及文明是连续、整体、一元的，两河流域文明则是断裂、分立和多元的，前者和中国相似，后者则接近西方。因此，埃及文明虽然包含多个王朝和时期，但其文字、文化、体制则始终没有大变化，其中心也只是在底比斯和孟菲斯之间摆动。两河流域文明则不然，它以苏美尔、巴比伦和亚述等三个帝国时期为标志，这些帝国是由使用不同语言的不同民族在不同政治中心所建立，它们的宗教、文化虽然相互传承，但各有不同本体，是不可混淆的——这是时间上的断裂。不但如此，而且，与此三个帝国同时并存，相互攻伐、影响的，还有周边或大或小的许多其他民族和政权，例如东边的埃兰（Elamites）和波斯（Persia）政权、北部的胡里安（Hurrian）和古梯（Gutian）政权、西北部的赫梯（Hittite）王国、西部的阿摩利（Amorites）政权，等等。其实，它最早期的苏美尔帝国本身，就已经是多个城邦的松散结合体，其主宰性力量始终在不同城邦之间转移，嗣后阿卡德人（Akkadians）和亚述人（Assyrians）之先后入主，可以说是同一模式的扩大——这是空间上的分立。

也许，这种强烈对比可以从地理环境的差别中找到解释。毕竟，两河流域是“四战之地”：它东边的扎格罗斯（Zagros）山脉，北边的高原，西边和南边的沙漠好像是自然边界，但并不构成有效屏障，其后面的其他

民族、政权可以通过无数山脉缺口、途径入侵，使得此地始终处于动荡、风暴之中，而这正是在它古代三千年乃至现代所不断发生的事情。

在19世纪以前西方人所知道的中东历史主要从圣经《旧约》得来，基本上仅限于后期亚述帝国。其后，经过将近一个多世纪努力，即是到20世纪中叶，两河流域的丰富历史，才再次得以揭露于世人之前。这转变的关键在于中东发现了陶泥板（clay tablet）上以楔形文字（cuneiform）书写的大量文献。这些陶泥板经过晒干或者烧烤之后非常坚固耐久，成为几乎是永久的记录，因此我们今日对两河流域远古文明的认识，绝大部分就是得之于收藏各大博物馆中的数十万块陶泥板。更为幸运的是，这些陶泥板有相当数量和科学特别是数学有密切关系，它们所提供的资料，要比埃及那绝无仅有的五六个草纸手卷丰富得太多了。

苏美尔文明

历史上的苏美尔（Sumer），是指今日伊拉克南部，即是从巴格达到波斯湾之间的两河流域。它从公元前5000年前开始，就已经有连续发展的农业文明，在此文明末期，出现了以图形符号记录实物的方法（公元前3500—前3200），以及由之发展出来的楔形文字（公元前3200—前2900）。所谓"苏美尔人"可能就是在此时从里海附近的阿拉塔（Aratta）移居两河流域，从而刺激当地产生高等文明。除了文字以外，这一文明的特征还包括人口密集的城市、大规模灌溉种植、结构繁复的大神庙、精美和风格奇特的巨瓶和圆柱形印章，以及频繁的远程贸易，等等。比对埃及，苏美尔文明最不同的无疑是它以多个城市而并非固定首都为核心，以及贸易在其经济体系中占据的重要位置。有学者认为，苏美尔文明是经过长久酝酿而逐渐发展出来的本土现象，古埃及文明则是由外来典范刺激而萌生的衍生现象，而外来刺激的唯一可能来源，当然就是苏美尔文明①。

苏美尔文明前后延续近千年之久（公元前2900—前2000），它一共经历了城邦争长、霸主出现、阿卡德王朝，以及权力和文化达到顶峰的乌尔

① 见 Woolley 1965，pp. 187－188。

表 1.2　两河流域历史分期

时　期	年代（公元前）	事　件	资　料
史前时期	乌鲁克时期 （3200—2900）	聚落增加及雏形城市出现；图形记录及文字出现；计量法的发展	6000 块出土于乌鲁克之陶泥板，大部分有关管理
苏美尔时期	三城邦争长 （2900—2600）	开始有文件记录；灌溉工程；高度城市化；基格米殊称雄	乌尔出土的数百陶泥板
	霸主时期 （2600—2340）	外族入侵与本土政权交迭；文士阶层出现；初等算术的发展	苏鲁柏克及拉卡殊出土大量文献；出土乘数表、几何题目、除法问题
	阿卡德王朝 （2340—2160）	萨尔贡大帝时期；大量纪事诗歌及颂功文学	大量陶泥板及石刻文献；十余块数学陶泥板，以“前代数”方法解决面积问题
	乌尔第三王朝 （2112—2004）	苏美尔文化的复兴与发展；以庞大官僚组织控制全国	超过 10 万块陶泥板，大部分为经济文献
巴比伦时期	伊辛王朝 （2004—1750）	阿摩利人入侵；中央控制崩溃；邦国争长重现	苏美尔与乌尔毁灭哀歌
	旧巴比伦王朝 （1894—1595）	在汉谟拉比朝达到高峰	西巴尔（Sippar）与拉尔萨资料；数百块数学陶泥板出现，数学的全面发展
混乱时期 1600—1365	卡塞特王国 （1530—1155）	伊兰王国（1450—1100）；米坦尼王国（1500—1350）；	文士学校与数学的消失
亚述时期 1365—539	中期帝国（1365—1050）	赫梯帝国（1530—1155）	
	新亚述帝国（934—612）	整个中东的征服	开始有《圣经》及其他历史文献的记载；在塞琉西王国时期出现三块数学程序陶泥板
	新巴比伦帝国（626—539）	数学与文士制度的复兴	
为外部帝国所征服 612—30	波斯帝国（612—311）	米达斯王朝与居鲁士王	
	塞琉西王国（311—30）	亚历山大大帝的后续王国	

（Ur）王朝等四个时期（表1.2）。它的发展有以下几条线索。首先，是政权的逐步集中；其次，是以大神庙为中心的多神宗教之发达并且与政权密切结合；第三，是官僚组织之日趋精密和庞大；最后，则是法律体系包括各种商业契约、协议的逐渐完备。而作为所有这些发展基础的，则是楔形文字的发展和书写在陶泥板上文献的大量应用。和中国一样，苏美尔也是“文字之邦”，但他们幸运得多，因为上天赋予了他们极其方便而且几乎是“不朽”的记录方法。

这确切的记录使得两河流域在相当于中国三皇五帝时期就已经进入信史时代。例如，苏美尔第一英雄基格米殊（Gilgemesh）的时期相当于公元前2600年，他不但作为主角出现于刻录在陶泥板上的史诗，而且，和许多更早的君主一样，有早期文献记载，那就是公元前1800年的“帝王表”（The King's List），以及公元前2000年的神庙碑刻，即列出神庙建造者或者重修者的所谓“Tummal Inscription”。而且，从最早期开始，就已经出现了大量买卖契约：上述霸主时期的拉格什城（Lagash）乌鲁卡基那王（Urukagina，约公元前2350）留下了一份长达数千字的政治改革文告；到乌尔第三王朝，不但开创君主乌尔南姆（Ur-Nammu，约公元前2060）留下了残缺但也许是人类最早的成文法典，而且王朝百余年间的民事、刑事诉讼档案以及公证文件也都留存下来，使得我们可以获知当时法律程序的梗概。最后，到了伊辛（Isin）王朝亦即旧巴比伦帝国前期，则有利皮伊殊塔王（Lipit-Ishatar，约公元前1930）另一部颇为完整的法典。

和古希腊一样，苏美尔文明以城邦为基本政治形式，建立庞大帝国非他们所长。正如初次统一希腊诸邦和古代世界的亚历山大是马其顿人而非雅典或者斯巴达人。同样，在两河流域初次建立帝国的萨尔贡大帝（Sargon the Great，约公元前2340）也并非苏美尔人，而是说阿卡德语的闪米特族人（Semite）。在这使用苏美尔文字，但语言不同的外族政权之后，出现了苏美尔人的黄金时代，即乌尔第三王朝，严密而全面的官僚统治在其时达到高峰。但仅仅百年之后苏美尔文明就告结束了。

巴比伦文明

苏美尔文明之后，以阿摩利人为主的伊辛王朝代兴，它前后经历203年和14位君主，以迄被巴比伦的汉谟拉比所灭。在此时期多城邦政治形态继续留存，它与拉尔萨（Larsa）、巴比伦、亚述（Assur）、马利（Mari）等许多政权同时并存，以迄为所谓旧巴比伦王朝（Old Babylonian Dynasty，约公元前1900—前1600）所取代。此王朝前后历十一王，著名的汉谟拉比（Hammurapi，公元前1792—前1750）居第六位。他在位的时间极长，所征服的幅员很广（包括伊辛王国），以刻在黑石柱上而留存后世的“汉谟拉比法典”（现存卢浮宫博物馆）知名。但这其实并非他原创：如上文所提到，在其前两三百年间，已经最少有过两套成文法典出现了。此外，为了还不十分清楚的原因，从他的统治开始，数学陡然兴盛发展，今日出土的绝大部分数学陶泥板都是属于公元前1800—1600年这两百年期间；更令人惊讶的是：上一节所提到的埃及数学手卷，也同样属于此时期。这是巧合，抑或有更深层关系存乎其间，目前还没有办法判断。

巴比伦帝国没有维持霸权很久，在汉谟拉比之后就开始慢慢衰落，以迄被崛起于小亚细亚的赫梯王国所灭。在随后大约千年间（公元前1600—前600），经历了卡塞特人的长期入侵，以及伊兰人、赫梯人和胡里安人政权相继兴起之后，两河流域的政治重心北移到底格里斯河上游的亚述和尼尼微（Niniveh），受武力和版图都达到空前地步的亚述帝国所主宰。在这漫长时段，文士学校制度废除，数学完全归于沉寂，几乎没有任何相关陶泥板留存。这样要待到新巴比伦王朝（亦即所谓迦勒底巴比伦，Chaldean Babylon）的短暂复兴，才再有一些数学陶泥板出现，它们显示出与远古传统的联系，但并没有新进展。在公元前529年，新巴比伦王朝为波斯帝国所征服，其后中东又相继为亚历山大大帝和罗马帝国所征服，两河流域作为独立远古文明的阶段就告结束了。

二、埃及数学手卷

宗教主宰埃及文明，埃及人可以为神灵以及身后世界而奉献此生。相比之下，科学显得很渺小，可以说微不足道：最多，它只不过是诸般实用技术的附庸罢了。把埃及两千多年间所遗留下来的极少数科学文献和它浩如烟海的其他文献相比，我们自然不免涌起这样的感觉。不过，即使是如此，这些远古文献却仍然埋藏了两个令人非常惊讶的成就。首先，是其一度采用的圆周率 $\pi \approx 3.16$ 准确到 0.6%，和东汉刘歆、张衡，三国时代王蕃等所求得值的准确度（0.4%—1%）不相上下，一直要到魏晋南北朝的刘徽、何承天方才超越此成就①。其次，是文献中已经提出了截锥体（frustum）体积的准确公式，而这即使在以几何学见长的古希腊数学中，也是要到公元 1 世纪才明确提出来的。因此，古埃及数学到底曾经达到何种水平，是不能够轻易判断的。

林德数学手卷

从 18 世纪末年开始，法、英两国相继从奥图曼帝国手中夺取了埃及的控制权，自此之后这古国的遗迹和文物便吸引了大批西方官员、商人、探险家和学者。在他们所挖掘、搜集、购买得到的无数器物、文献之中，有六件写在草纸或者羊皮上面的数学手卷，其中最重要、最有价值的，是所谓“林德数学手卷”（Rhind Mathematical Papyrus，RMP）②。它是苏格兰律师和埃及学家林德（Alexander Henry Rhind）于 1855—1857 年间在底比斯的卢克索（Luxor）大神庙附近挖掘陵墓时所购得，他去世后由大英博物馆在 1865 年分两截购入收藏，连接这两截的片段则为纽约布鲁克林博物馆（Brooklyn Museum）收藏。这手卷宽 32 厘米，

---

① 见李俨 1955，第 13－14，19－21 页。

② 有关古埃及数学史，以及六件数学手卷的大致状况，见 Gillings 1982，可惜此书的结构与体例未尽人意；至于林德数学手卷的历史、描述和分析，则见 Robins and Shute 1990。

长 513 厘米，由 14 张 40 × 32 厘米的草纸页片粘连而成，除了稍有残缺以外，大体保存完整光洁。手卷是用红黑两色在前后两面书写，字体端庄工整，内容包括誊录者阿莫斯（Ahmose）的题注、85 道算题，以及一个数表（图版 1）。

根据题注中的阿莫斯自述，他是在所谓“赫索斯”（Hyksos）时期第十五王朝（公元前 1648—前 1540）的阿波菲斯王（Apophis）第三十三年誊录此卷；所誊录的，是第十二王朝第六王阿门尼米斯三世（Ammenemes III，公元前 1843—前 1798）的旧卷。从这相当清楚和仔细的记载，我们可以肯定这手卷是公元前 1600 年左右的抄本，其所根据的原本则写成于公元前 1800 年左右，也就是距今将近四千年了。

表 1.3　林德数学手卷算题内容综述

算题编号	算题内容	附　注
7—23	单分数相加，结果成 1 之问题	
单分数加倍表	将单分数 1/n 加倍即 2/n 表为单分数之和	n = 5，7，9，…，99
24 - 38；47；80 - 81	一元一次方程	系数为整数加单分数
1 - 6；39 - 40；61；63 - 65；67 - 68	面包之平均与多项不均分配	分数与复比例问题
62；66；69 - 78；82 - 84	价值、交换、供食	简易比例问题
41 - 43；48；50	圆柱体积，相当于用圆面积 $A = (8d/9)^2$	相当于 $\pi = 256/81 \approx 3.16$
44 - 46；49；51 - 60	长方、三角及梯形面积；斜率	
79	求特殊几何级数之和：$r = U(0)$；$U(n) = rU(n-1)$；$S(n) = r[1 + S(n-1)]$	

从表 1.3 可见，此远古数学手卷的性质类似于教科书，它的内容大体上可以分成分数运算、比例问题、一元一次方程和几何形体求面积、体积等四类，性质大都很浅显，但也有以下值得注意的地方。首先，古埃及的乘法和除法基本上都分别是以加法和减法来演算的，也就是说，他们还没有发展出应用乘数表和对位的方法。第二，他们虽然已经有分数的观念，

并且广泛应用，然而却还没有发展出普通分数（common fraction），即以分子和分母两个数目表示一个分数的观念，而局限于“单分数”（unit fraction），即是分子为1的分数1/n（2/3的应用是个特殊例外）。这种执著使得他们在分数的运算上发展了许多奇特的技术，其中最显著的，便是如何将单分数的双倍，分解为其他不同单分数之和（这不一定是独特分解），例如2/11 = 1/6 + 1/66；2/71 = 1/40 + 1/568 + 1/710，等等。手卷中的数表便是为从5至99之间所有奇数n的单分数倍数2/n，列出分解方式。第三，所有比例和复比例题目，都和食物、物件的分配，或者购买价格有关；至于一元一次方程也往往是和（最少表面上的）应用题相关。但从数学技巧上来说，这两类题目的重点都在于处理分数的技巧，而由于他们对单分数的执著，这些技巧是颇为特别的。第四，所有几何题的目标主要是计算简单形体的面积或者体积，这包括正方、长方、梯形、圆形的面积，及长方柱体、圆柱体的体积，此外也引进了斜率的概念。特别值得注意的是，它用以计算圆面积A的方法相当于下列公式：$A = (8d/9)^2$，其中d是直径。这相当于圆周率π的有效值是256/81≈3.16，其精确度已经达到0.6%。至于当时怎么能够获得这样高度近似的数值，则从该题的附图引起了各种可能猜测，但迄今没有定论①。可惜的是，到后来这种方法好像失传了，粗略的π≈3反而被用起来。最后，手卷中还有一道很奇特的几何级数求和问题——但它只是在级数首项和级数比率相等的特殊情况下求和，所以意义并不是很大。

莫斯科数学手卷

林德所发现的，同时还有一个年代相若的羊皮手卷，它已经硬化和黏结，一直等到1927年才打开。然而结果却令人大失所望，因为它只不过是誊录26道单分数加法题，是常用手册、数表之类的东西②，并没有特殊价值。重要得多的，是莫斯科数学手卷（Moscow Mathematical Papyrus,

---

① 有关讨论见 Robins & Shute 1990，pp. 44 - 46；Gillings 1982，pp. 39 - 146。

② Gillings 1982，Ch. 9 对此羊皮卷的历史、内容、评价有详细讨论，并且附有其照片。

MMP)，它在 1893 年由俄国人戈列尼谢夫（V. S. Golenishchev）从埃及人拉素（abdel-Rasoul，此人曾经发现秘密陵墓和大量帝王木乃伊）手中购买，后来归莫斯科艺术博物馆。此卷长度与林德手卷相若，但高仅 8 厘米，也属第十二王朝旧物，但年代更早，约在公元前 1890 年左右。不幸的是，誊录者很草率，卷子又颇为残破，所录 25 道算题有将近三分之一破损或者隐晦无法阅读，其余各题则大多是浅易的交易、比例、面积计算题，等等，并没有超出林德手卷的范围①。

但是，它有两题却非常特别，显示出意想不到的几何计算能力。这就是第 14 题，它正确地提供了计算截锥体，即金字塔截去尖端而成为平顶立体的体积公式：$V = h(a^2 + ab + b^2)/3$，其中 h 是截锥体高，a 和 b 分别是底正方形和面正方形的边长。这是个不那么容易得到的准确公式，在古希腊数学中要一直迟到 1 世纪的赫伦（Heron）才初次提出来。对于古埃及人如何得到这个公式有不少猜测，例如：他们肯定知道完整金字塔的体积是底面积乘以高除以 3；根据这个公式，只须将大金字塔体积减去塔尖那个小金字塔的体积，原则上就可以得到截锥体的体积；他们也可能把截锥体分解为小金字塔、方棱体和两个三角棱体，然后求其体积之和。但是，要以这类方法得到上述公式的话，必须做相当繁复的数式运算，在符号代数还未曾出现的时代，这是极端困难的②。

此外，它的第 10 题是计算一个“开口篮子”的面积。倘若将此视为半球的表面积 A，那么它提出了正确公式：$A = 2\pi r^2$，其中 r 是半径，π 的相当值同样是前述的 256/81。倘若真是如此，那么远在阿基米德之前 1500 年，埃及人就可能已经知道（虽然并没有证明）他最可引以自豪的成就之一，即球表面积公式了！这无疑非常令人震惊，它有两种可能解释：其一是编织草篮子是普遍日常工作，所以埃及人可能从经验上知道，近乎半球面的篮子面积大致是其圆形开口面积 πr^2 的两倍；另外一种看法是所谓“篮子”其实是半圆柱面，而计算所得也可以解释为其面积，但

① 有关莫斯科数学手卷的历史及内容，见 Gillings 1982，Appendix 7。

② 有关讨论见 Robins & Shute 1990，pp. 48 – 49；Gillings 1982，pp. 188 – 193。

这似乎就比较牵强了①。

其他数学手卷

除了上述两个主要草纸卷以及一个羊皮卷之外，余下的其他三个数学手卷年代也在公元前1800—前1900年间，但它们所提供的资料很稀少②。大英博物馆所藏的卡洪数学手卷（Kahun Papyrus）只剩六块残片，它有部分和林德手卷相同，此外有计算圆柱体积的问题，以及涉及开方的问题。柏林国家博物馆（Staatliche Museen，Berlin）所收藏“柏林数学手卷”同样是一组残片，它似乎和毕达哥拉斯定理或者二元二次方程式有关，不过其确切意义目前只能够存疑。最后，藏于波士顿美术博物馆（Boston Museum of Fine Art）的莱斯纳数学手卷（Reisner Papyrus）则大部分是工场记录，只有小部分和建筑施工，即挖掘体积的计算有关③。

总括而言，从以上六个手卷所能够看到的古埃及数学大部分都很浅易。然而，它显然也并不缺乏高深和精密部分，只是由于证据稀少，所以它在漫长的两三千年岁月中，到底发展到什么程度，实在难以判断。而且，对埃及计算数学的重要性也有不同的估计，例如古希腊数学史专家希斯（Thomas Heath）就曾经论证，在几何与代数两方面，希腊数学都是渊源于埃及，而林德数学手卷上的计算题就已经具有解一次方程式的雏形④。

三、陶泥板上的数学

埃及数学手卷的发现是非常偶然而稀罕的，因此我们无法衡量埃及数

---

① Gillings 1982，Ch. 18 对于此题有专论。

② 除此之外，密歇根（Michigan）大学和开罗博物馆也都藏有属数学性质的草纸文献，见 Gillings 1982，p. 91n。

③ 莱斯纳数学手卷的描述见 Gillings 1982，pp. 218－231；卡洪及柏林数学手卷的描述散见同一著作。

④ 见 Heath 1965，ii，pp. 440－443。

学的真正水平。两河流域的数学却完全不一样。从19世纪末叶开始，通过长期考古发掘，已经有大量载有远古楔形文字记录的陶泥板出土和累积在西方各大博物馆中，其中大约四百块已知和数学有关系。这些数学陶泥板的研究，是由开山祖师奈格包尔奠定基础。在20世纪初，陶泥板上的大量数字、数表到底有何意义还是个谜，这位德国哥廷根大学才华横溢的青年数学家接受了挑战，从学习以楔形文字书写的阿卡德语开始，经过数年潜心研究，终于初次获得突破解破谜团，从而作出本章开头所引述的震撼性宣布。在其后不久，和许多其他德国学者一样，他也由于纳粹当权而移居美国，并出任布朗大学（Brown University）教授，该校科学史系在近半个世纪能够大放异彩，他的领导、培育之功实不可没。

但开拓先锋奈格包尔所揭露的，其实只是冰山一角而已。经过随后许多学者大半个世纪的辛勤研究，巴比伦数学的整体面貌，特别是其几何型代数学的精妙与丰富，方才为学界充分认识，并且由丹麦科学史家海鲁普（Jens Høyrup）在《长度、阔度、平面：旧巴比伦代数及其支属的面貌》一书中全面展示于世人之前。由此我们得以知道，3500年前巴比伦数学所已经达到的水平，以及所显示的运算能力，其实远远超过一般学者想象，而且，如下文所将会讨论，古希腊乃至中古伊斯兰数学的渊源，都有可能直接追溯到古巴比伦①。

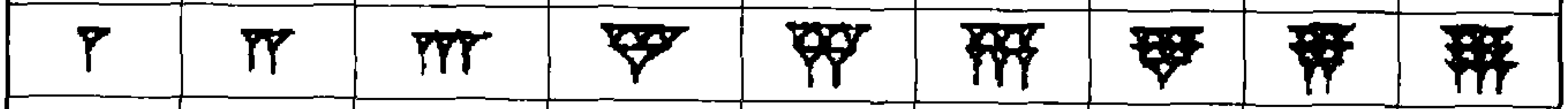
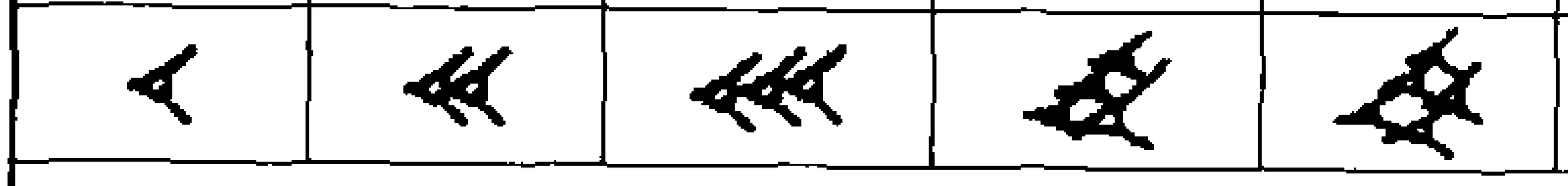
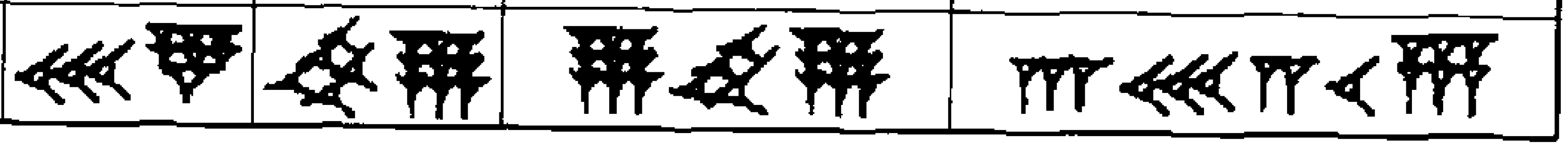
西方数学的起源

两河流域的数学有个悠久和渐进的发展过程，它的第一阶段是苏美尔文明的数学，那主要就是发展记数法和算术。这在苏美尔时期的数学陶泥板上显示得非常清楚：在最早期出现的，是用以记录不同实物数目的各种符号；到了乌鲁克（Uruk）考古时代末期（公元前3200—前

① 有关巴比伦陶泥板上所记载的数学，奈格包尔的《古代精确科学》即Neugebauer 1969有扼要的综述；至于Neugebauer and Sachs 1986则是相当一部分原始资料的图版及其翻译与详细分析。但近年来这方面的最重要和最全面著作无疑是丹麦科学史家海鲁普的专著，Høyrup 2002；他的另外一部著作Høyrup 1994则对古巴比伦数学和伊斯兰代数学之间所可能存在的直接关系有论述。

2900)，这些符号逐步统一和抽象化，以至演变为有独立意义的数目字，而文字亦在大致相同时间出现；到了所谓“前萨尔贡时代”（公元前2600—前2340)，则两河流域所特有的六十进制记数法以及在此基础上发展的四则运算法成熟，陶泥板上开始出现乘数表和除法问题，这后来就成为更高级的巴比伦数学之基础①。

表1.4　混合六十进制记数法

楔形文字中的14个基本数目符号								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
								
10	20	30	40	50				
								
混合六十进制中的数目举例								
阿拉伯数目记法		37	59	589		12736		
现代六十进制记法		37	59	[9，49]		[3，32，16]		
楔形文字记法								

六十进制记数法往往被国人视为笨拙、不切实际。当然，它的确及不上阿拉伯记数法和近世标准十进算法的便捷，但却也并不如想象中那么复杂、困难。这有两个原因：首先，这记数法所应用的基本数目字只是14个而并非60个，因为它是所谓“六十进与十进混合制”，因此，如表1.4所表示，从1至59的任何一个数目都只要用1至9以及10、20、30、40、50这14个符号就可以表达。举例来说，中文的“三十七”以阿拉伯数字表示是“37”，在六十进制中仍然是“30”加“7”。其次，他们已经发明了全面的位置记数法，因此“五百八十九”以阿拉伯数字表示是589，在“混合六十进制”中可以分解为 $589 = 9 \times 60 + 49$，以现代六十进记法可以

① 有关苏美尔记数法的发展及其所用的符号，见 Kramer 1963，pp. 91 -94；巴比伦算术通论则见 Neugebauer 1969，Ch. 1。

简明地表示为［9，49］；同样，更大的数目 $12736 = 3 \times 60^2 + 32 \times 60 + 16 =$［3，32，16］，这以楔形符号表达也是同样方便的。

由于位置记数法的应用，这种六十进制记数法和我们熟悉的阿拉伯十进记数法并没有根本差别：它可以轻易处理很大的数目，在其中加法和减法都很容易。乘法在原则上也和我们熟知的没有分别——只是 60×60 的乘数表不容易记住，必须求助于记载在陶泥板上的数表。至于除数，则的确不容易直接用心算，而需要借助于预先编制的“倒数表”，以将除数改变为乘数。不过，这计算系统虽然在多数情况下很方便、实际，但也仍然有基本缺陷。首先，它尚没有相当于“0”的数字，因此无法精确表达诸如3601那样的数目——它应该是 $1 \times 60^2 + 1$，即记为［1，0，1］，所以必须用到“0”这个数字。其次，它没有小数点，所以数目的绝对值不能确定：上文的［9，49］既可以是589，也可以理解为 $589/60 = 9 + 49/60$，甚或是 589×60^n，其中 n 是任意整数，正负均可。所以，在实际应用上，数目的绝对值只能根据问题的语境决定，这就严重地限制了它作为数学工具的独立性。最后，这个计算系统中还没有普遍的分数观念；而且，对于像7，17，23这些不能够整除60的数目来说，“倒数表”只能给出近似而非准确结果，所以如何处理相关除数还是个大问题。

无论如何，位置记数所带来的巨大方便使得苏美尔的六十进制记数法和四则运算法流传下来，其符号和细节虽然有变更，但整体方法则为巴比伦和希腊数学家，包括像托勒密那样需要做大量繁复计算的天文学家所沿用。而且，上述缺陷也在后来逐渐得到弥补，这主要包括“0”符号以及六十进小数点“；”的发明。今日十进制已经普及全世界，但由于历史上六十进制已经在天文、航海上广泛应用，所以它仍然遗留在方向、角度和时间的划分、记载上，即圆周分为360度，每度60分，每分60秒；每小时分为60分，每分60秒，等等。

其实，苏美尔数学并不完全止于四则运算。有清楚的证据显示，在霸主至萨尔贡时代（公元前2600—前2200），苏美尔陶泥板上已经出现解决测量亦即几何问题的一些基本方法，它们后来成为巴比伦时代解决更复杂同类问题的基础。为了方便，这些我们留待下面一并讨论。

巴比伦的数学陶泥板

两河流域数学的高峰在巴比伦旧王朝，但它并非缓慢地发展出来，其出现是相当突兀和独特的。如上文一再提到，出土的数学陶泥板绝大部分都属于此时期。而且，这绝非偶然：虽然在它之前的乌尔第三王朝，和在它之后的卡塞特混乱时期和亚述帝国时期，都有大量陶泥板记录，其中却几乎没有任何数学文献，此下一直要到公元前300年开始的塞琉西王朝，才重新有数学陶泥板出现。这个特殊现象是很令人惊讶的，它很可能是和大规模文士教育体制（scribal institutions）的建立有密切关系，其意义我们还要在下文讨论。

数学陶泥板大致有三类：

（1）问题板，统共大约100块，这又可以再细分为两个次类：（a）解题板，每板只记录一至数题，数学问题本身和计算步骤都详细列出；（b）各种类型的问题集，其中有些类似于教科书中的练习题部分，但也有各种不同类型问题的集合，它们一般没有解法和答案，或者仅有答案而没有解法。

（2）数表，统共大约300块，这包括最简单和常用的乘数表、倒数表、度量衡转变表、平方和立方表，以及为解决更复杂问题而编制的特殊数表，例如复利表、高次方表、方根表、幂数表、平方与立方之和的数表，等等。

（3）少量计算板，也就是算草的记录。

显然，以上三者与我们今日所熟悉的教育文本大致对应：问题板类似于教科书，包括教材和习题两部分；数表类似于计算机出现以前常用的对数表和三角函数表；计算板则相当于学生的练习本或者算草纸。

四、巴比伦代数学

那么，在这个历时久远、规模庞大的巴比伦文士体系之中，数学的发展到底达到了什么程度呢？简单的答案是：他们最杰出的成就是解方

程式，包括大量线性方程和一般二次方程的通解，这在西方本来以为是要到欧几里德的《几何原本》才出现。至于在中国，到西汉方才成书，历来被奉为圭臬的《九章算术》虽然有线形方程组解法，但二次方程解法却只是在“勾股”章第二十问中所谓带“从法”的开方术简略提到，详细步骤则阙如。所以我们为将近四千年前的巴比伦代数学感到震惊是完全有道理的。除此之外，巴比伦数学还将数量关系应用到几何形体的划分上去，和利用数表得到高次方程式乃至超越方程式的近似解；对三角形、梯形、正多边形和圆形的边、周长和面积的研究，也是他们所长；不过立体的研究则似乎较少为他们注意。以下我们就上述最重要的几类问题举例说明①。

二次方程式

二次方程解法是巴比伦数学的核心。当时还没有抽象的未知数概念，所以它的问题都是用正方形、长方形、面积、边长这些几何词汇和观念来建构，但我们可以判断，在底子里这些问题具有很强的抽象性质，这主要是因为在解决这些问题的运算中，经常会出现面积和长度相加减那样缺乏实际意义的情况。所以，将之称为“代数”是合理的。

现在我们举出编号为 BM 13901 的陶泥板所载第一题，来说明他们的基本解题方法，即是通过“剪贴面积”来“完成平方”。以我们熟悉的语言表达，这个题目是：“（正方形的）面积加边长为 a，求边长 x。”倘若正方形的边长为 x，其面积就是 x^2，因此这个问题相当于求解下列方程式：$x^2+x=a$。为了简便，以下我们用符号□(x) 来代表“边长为 x 的正方形”之面积，用符号 [x, y] 来代表“边长为 x 和 y 的长方形”之面积。这样，陶泥板上的解法是（图 1.2）：

① 本节有关 BM 13901，YBC 6967，VAT 6598，YBC 7289，YBC 6295，TMS XIX 等陶泥板上数题的翻译、描述和讨论，分别见 Høyrup 2002，pp. 50 – 58，261 – 262，268 – 272，65 – 66，149 – 154，194 – 200。相关讨论并见 Neugebauer 1969，pp. 29 – 48。

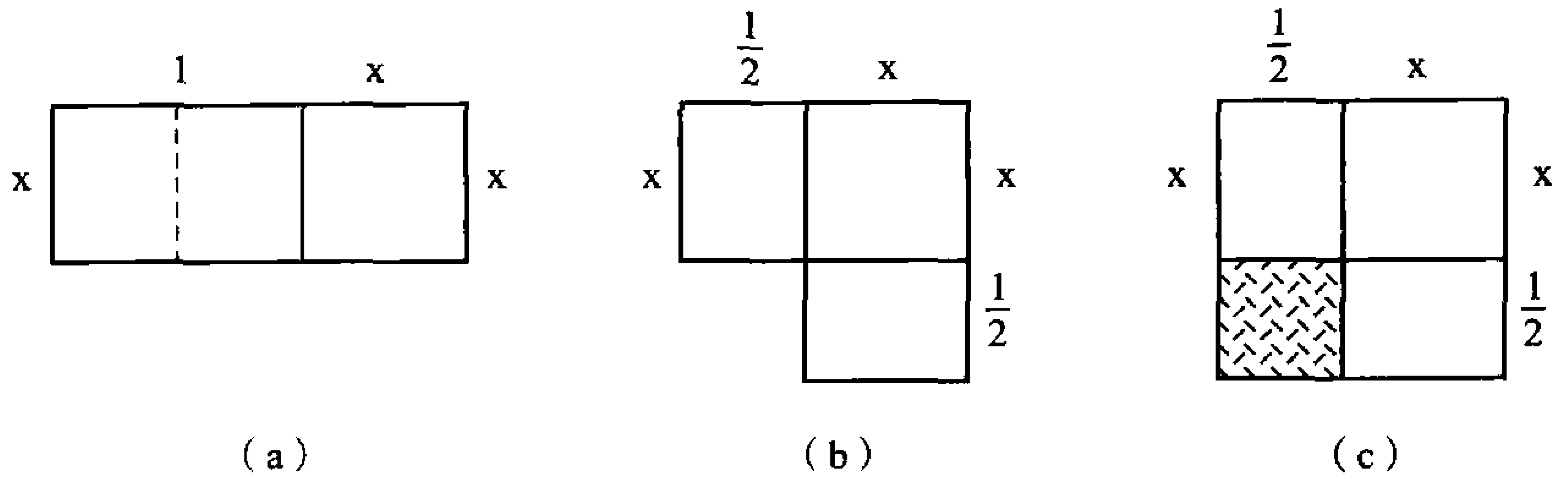


图 1.2　以剪贴法解方程式 $x^2+x=a$

(a) 把长方形 [1, x]（注意，这实际等于 x）附在正方形□(x) 旁边，两者的总面积是 x^2+x;

(b) 把长方形 [1, x] 分割为两个长方形 [1/2, x]，然后分别贴在□(x) 的两边，以造成一个曲尺形，但图形总面积维持不变，仍然是 x^2+x;

(c) 把另一个面积为 1/4 的正方形□(1/2) 贴附到曲尺形的内弯中，从而造成完整的正方形□(x+1/2)，这样图形的总面积增加了 1/4，即变成 a+1/4;

(d) 于是，$(x+1/2)^2=a+1/4$，也就是解得 $x=\sqrt{a+1/4}-1/2$。显然，这解法和现代代数的“完成平方法”（completing the square）基本上一致，只不过前者是用面积的分割、挪动，也就是“剪贴”来“完成平方”，而不是用抽象符号达到目的而已。同板第二题有个简单变化，即求解 $x^2-x=a$，其基本方法和第一题基本相同，但需要从正方形“剪裁”掉（而非附贴上去）两个长方形面积。

同板第三题求解 $(2/3)x^2+(1/3)x=a$，即具任意系数的二次方程式，解法相当于将 $ax^2+bx=c$ 全部乘以 a，从而得到 $(ax)^2+b(ax)=ac$；然后令 $y=ax$，将方程式变为 $y^2+by=ac$ 的形式，最后完成平方。在图 1.3 中，这相当于把面积为 a 的长方形 [x, (2/3)x+(1/3)] 的一边减少 1/3，造成长方形 [(2/3)x, (2/3)x+(1/3)]，其面积为(2/3)a。但这已经具有第一题“未知正方形加有相同边之长方形”即 y(y+b) 的形式，$y=(2/3)x$，所以可以立刻用“完成正方”的办法求解。换而言之，这是在“完成平方”这个基本方法以外加上“变换未知数尺度”的方法，这可以说是二次方

程解法的两个基本原则。

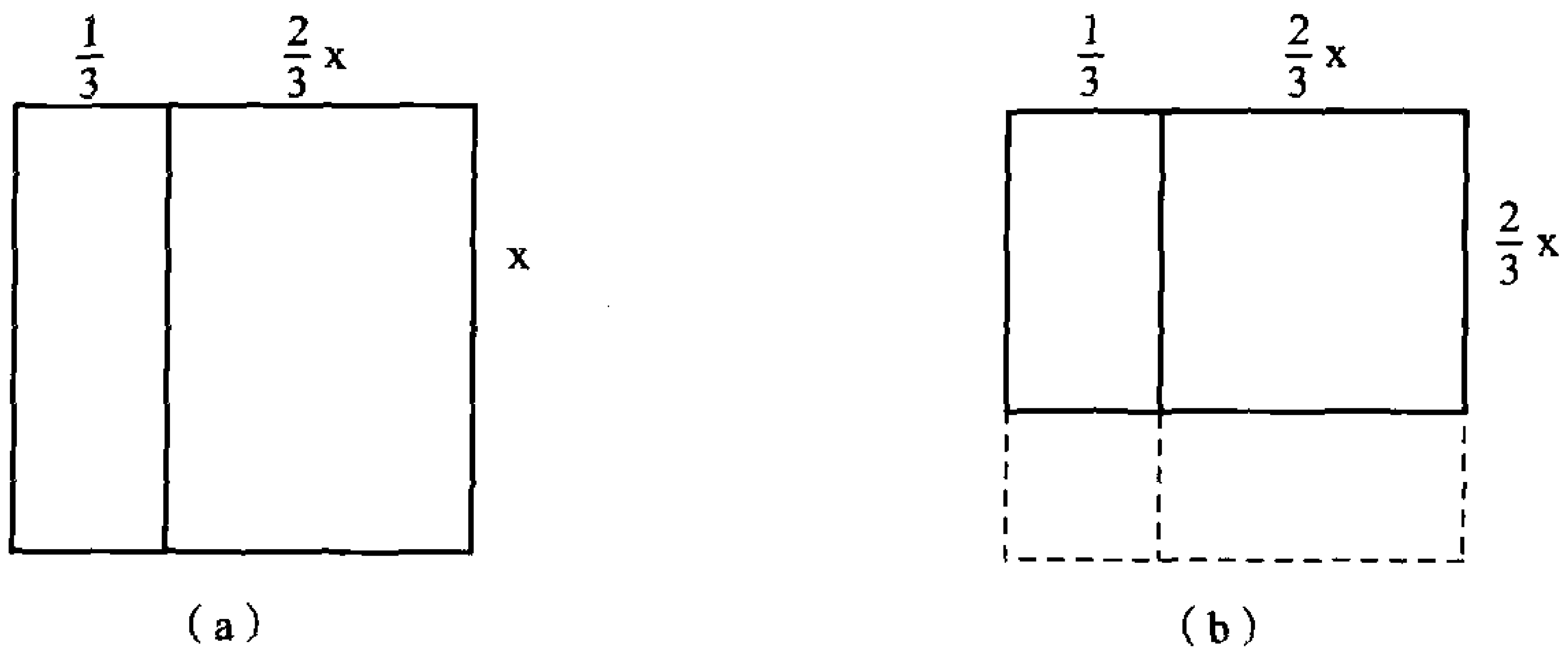


图 1.3 以剪贴法解方程式 $(2/3)x^2+(1/3)x=a$

基本相同策略也同样可以解决二次型的二元方程式。例如，$xy=a$，$x-y=b$ 这样的联立方程式（陶泥板 YBC 6967）就很容易通过前述面积变形和剪贴的方式解决，而另外一道关于买卖的问题（TMS XIII）实际上相当于同样的方程式，并且是以相同的面积变换方法解决的。当然，可以归入二次方程式类的还有很多问题，解决方法也变化多端，例如有所谓“假设法”(false position)，那就是变换未知数；有些问题导致“双二次型方程”（bi-quadratic equation），即 $ax^{2n}+bx^n=c$（其中 $n=2, 3, 4, \cdots$），那显然也可以用前述标准办法解决。例如陶泥板 TMS XIX 上的第二题就属于 $n=4$ 型，其中牵涉到以某正立方体体积为“边长”的长方形。这显示出当时文士对于他们所发展的“代数”的运算能力产生了好奇，因此有兴趣探究它的极限。

求平方根

陶泥板上有多种求平方根的方法，但都是作为解决问题的实际手段，而并没有系统的程序。例如，他们会应用下列近似公式（VAT 6598#6）：$\sqrt{a^2+b^2}\approx a+b^2/2a$（$a>b$），这和应用二次展开式所得到的最低近似公式吻合。虽然文献中没有显示如何得到这种算法，但上述“完成平方”的基本手段可以很轻易地应用在此问题上。例如，问题可以视为要将大小不同的两个正方形□(a) 和□(b) 变为一个正方形（图 1.4），步骤如下：

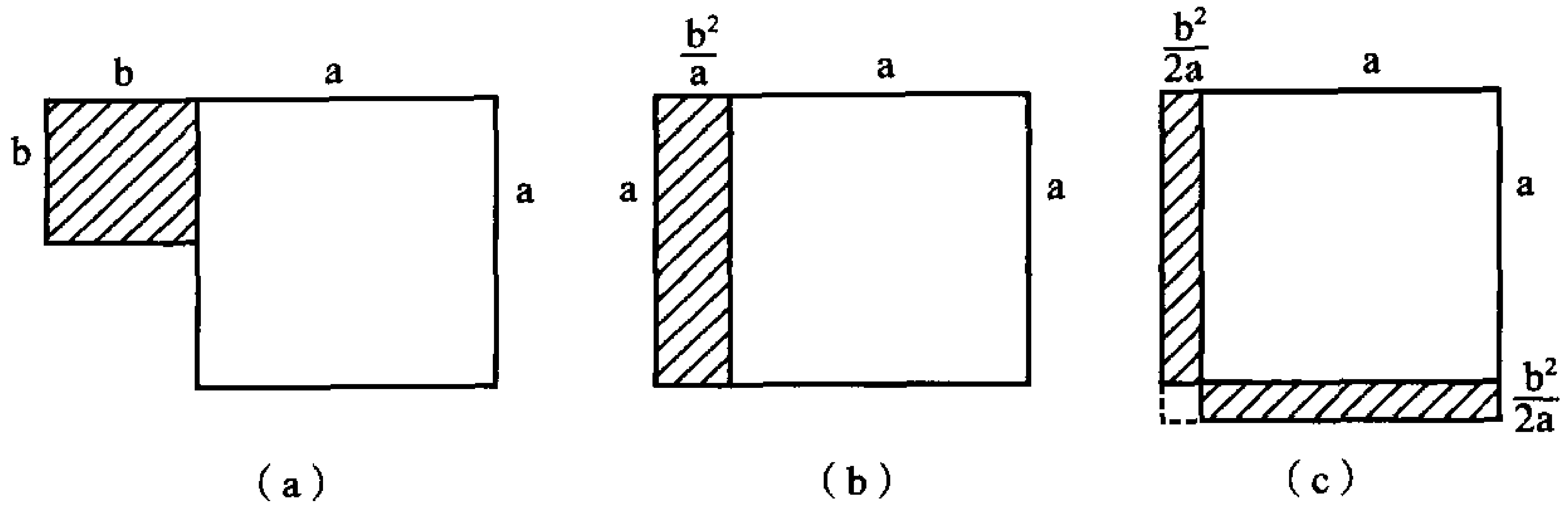


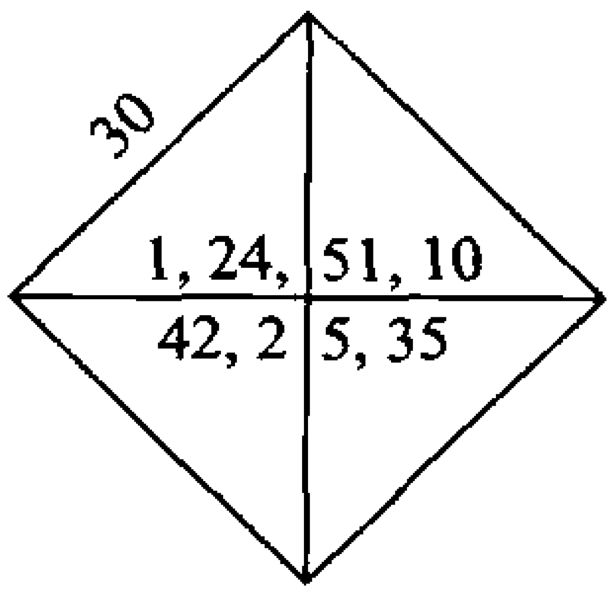
图 1.4 以剪贴法求 $\sqrt{a^2+b^2}$

（1）把正方形□(b) 转变为等面积的长方形［a，b^2/a］贴附在□(a) 旁边；

（2）把［a，b^2/a］分拆成为两个长方形［a，$b^2/2a$］，分别贴附到□(a) 的两边；

（3）这样造成的曲尺形的内洼部分较小，可以忽略，因此它可以视为正方形□($a+b^2/2a$)，那么原面积的开方就大约是 $a+b^2/2a$ 了。

显然，这近似解法在 $a \gg b$ 时最有效。在上述陶泥板问题中 $a=40$，$b=10$，近似结果可以准确到0.04%。此外，倘若问题是求任意数 A 的平方根，那么显然可以先估计一个（较小的）近似尝试值 a，然后采取与上述相同的步骤得到更准确的修正值 $a_1=a+b^2/2a$，其中显然 $b^2=A-a^2$，亦即 $a_1=(a+A/a)/2$。这是个非常简便，也很容易反复代入求高次修正值的公式。例如，以 1 作为$\sqrt{2}$的尝试值 a，那么反复代入所得近似值依次是：$a_1=1.5$，$a_2=1.416$，$a_3=1.4142157$，那已经准确到百万分之 1.5 了。虽然陶泥板上并没有找到这计算法的直接记录，但像奈格包尔等专家都认为，这有绝大可能是他们实际的运算方法。证据是：陶泥板 YBC 7289 上没有文字，它所显示的如下图（陶泥板照片见图版 2），是个带对角线的正方形，上面注明了边长（30）和对角线长（［42，25，35］，即 42.426389），以及［1，24，51，10］，那相当于十进制的 1.414222，这正好是所注明的对角线长和边长之比，所以毫无疑问，正就是他们的$\sqrt{2}$近似值，而它和上述第三修正值 a_3 是基本相同的。



三次方程式

巴比伦文士在二次方程式和二次根问题上成绩斐然，这大体上达到他们系统运算能力的限度了。他们留下了一些企图解决更高次问题的记录，但显然并没有获得突破。例如陶泥板 YBC 6295 是开立方问题，也就是从正立方体的体积求边长，但解法却是“找到”适当的“参考正立方体”，它的体积“恰好”是所给体积的1/27，因此所求边长是“参考正立方体”边长的 3 倍，如此而已。此外陶泥板 BM 85200 + VAT 6599 长达 156 行，有 30 道题目，这些都和挖掘泥土有关，并且导致一些“不齐次型”（in-homogeneous）三次方程式，但他们同样无法提出普遍解法——这得到三千多年后，即公元 16 世纪才会有突破。

另一方面，陶泥板上也列出 n^3+n^2（$n=1$，2，3，…，30）数值的数表，这可以视为解决不齐三次方程 $x^3+x^2=a$ 的重要准备工作，而且板上的确有从数表反求变量解法的记录；至于更普遍的方程 $ax^3+bx^2=c$，自然也可以通过他们所熟悉的“重标度”（re-scaling）变量转换而化约成前面的标准式。因此，这方面的工作应当视为巴比伦数学在解三次方程的最成功尝试。除此之外，应当顺带提到的是，陶泥板上还有幂数表 a^n，（$n=2$，3，4，…）以及反求幂数的问题，虽然语焉不详，也可以视为探索对数（logarithm）关系的滥觞。

不过，巴比伦文士显然还未曾发展出负数观念，更没有意识到二次方程式可以有两个解。那也就是说，他们在陶泥板上所解决的大量二次方程问题虽然已经脱离实际需要，而变为在专业训练中发展出来的智力考验或者游戏，然而在观念和方法上，却也还没有彻底抽象化和系统化。因此这只能够说是代数的雏形，它与严格意义的现代数学之间还有很大距离。

五、代数型几何学

除了“几何化”的代数以外，陶泥板上有不少真正的几何问题，但是它们的基本关怀仍然是简单直线图形的数量关系，而并非线条的空间关

系，或者几何形体的度量。所以，称之为代数型的几何学是很恰当的。

几何形体度量

整体而言，巴比伦数学对几何形体的直接度量并没有什么令人惊讶的发现。在奈格包尔和萨赫斯合编的《楔形文字数学文献》与此相关的部分有十余块陶泥板，上面载有超过百道算题①，其性质都是和挖土、砌砖、疏浚运河等实际问题有关，所牵涉的数学只限于简单比例和立方体、圆柱体体积的计算而已。唯一的例外，是出现在陶泥板 YBC 5037 的 35—44 题中的下列正截锥体体积近似公式：$V = h(a^2 + b^2)/2$，其中 h，a，b 分别是其高度和上下两面的边长：显然，比之莫斯科数学手卷的发现，它是差得远了。

在多数陶泥板上，圆周率一般只用极其粗略的 3，这未免令人惊讶。但在苏萨（Susa）出土的文献却证明他们对此有更仔细的研究，因为那列出了正多边形面积 A_n 与边长 a_n 的关系：$A_3 = (7/16)a_3^2$；$A_4 = a_4^2$；$A_5 = (5/3)a_5^2$；$A_6 = (21/8)a_6^2$；$A_7 = (221/60)a_7^2$，等等。由于我们知道，A_3 和 a_3 的比值应该是$\sqrt{3}/4$，因此可以推断在巴比伦数学中，$\sqrt{3} \approx 7/4$，这大约准确至 1%。此外，在同一文献中，还有正 6 边形周长 C_6 与外接圆周长 C 的关系：$C_6 = (24/25)C$。由于 $C_6 = 3C/\pi$，这相当于 $\pi = 25/8$，那准确到 0.5%，和埃及数学所得不相上下。然而，他们到底从何得到 24/25 的比例，是不清楚的。值得注意的是：在 n = 5，6，7 时上列 A_n 公式和公元 1 世纪希腊数学家赫伦在他的《测量学》（*Metrica*）中所列出的，并无二致。因此，他所承袭的，很可能是巴比伦而并非希腊本身的传统②。

平面形的分割

陶泥板上真正深入探讨的几何问题，其实还是离不开代数计算，而这是有深厚基础的。在公元前 2200 年的苏美尔陶泥板上，已经有几何图形

---

① Neugebauer and Sachs 1986, pp. 59 – 99.

② 见 Neugebauer 1969, pp. 46 – 47。

划分的记载。这基本上有两项。首先，是相当于 $(R-r)^2$ 展开式的面积关系□(R－r)＋2[R，r]＝□(R)＋□(r)。这关系很容易在图 1.5 中看出来，因为显然 A＝□(R－r)，B＝□(r)，C＝[R，r]－B，□(R)＝A＋B＋2C＝A－B＋2[R，r]。其次，如图 1.6 所示，倘若要以平行线 EF 平均分割正梯形 ABCD，那么梯形 AEFB＝(□(a)－□(c))/4＝梯形 EFCD＝(□(c)－□(b))/4，因此立刻得到□(c)＝(□(a)＋□(b))/2，这就是巴比伦数学中常用的"分割边的平方等于两平行边平方的平均数"定理①。

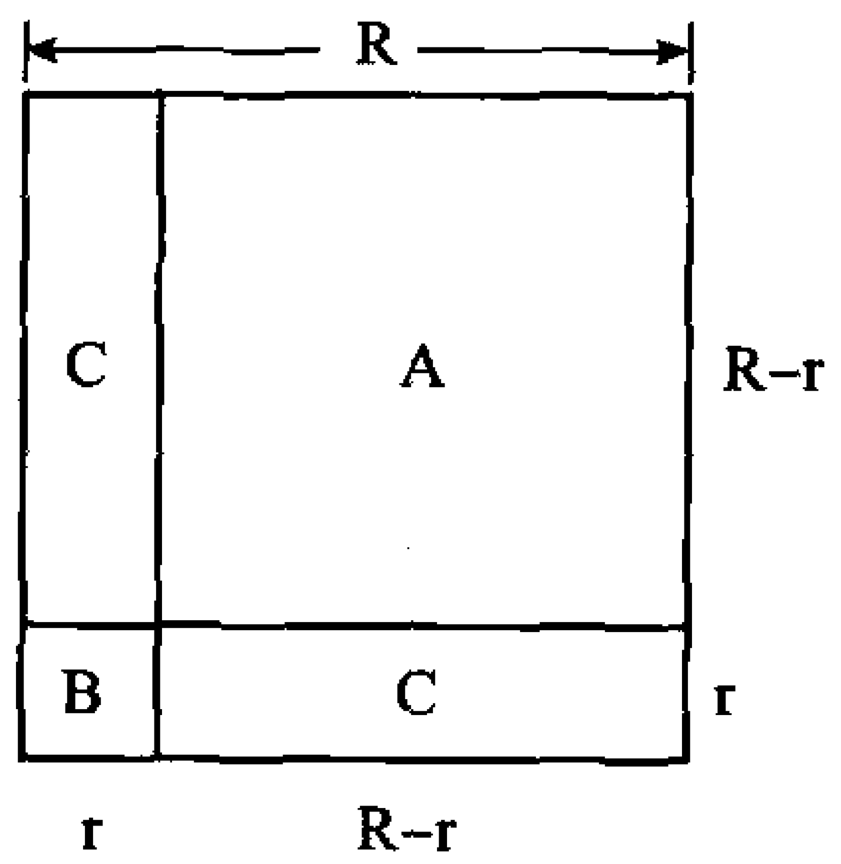


图 1.5　以图解显示二次展开式□(R－r)＋2[R，r]＝□(R)＋□(r)

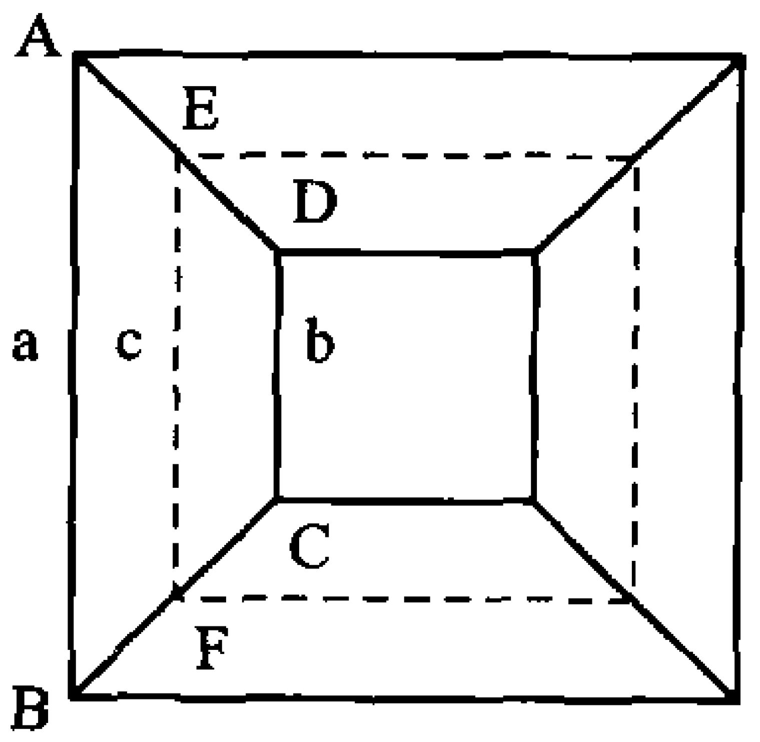


图 1.6　以平行线 EF 等分正梯形 ABCD 之面积

在旧巴比伦王朝时代各种几何图形分割的问题广受热爱，而解法基本上都是以上述两个发现或曰"定理"为基础。以下我们举陶泥板 VAT

① 这里所说的第一项关系只是基于大量算术问题出现的间接推断；至于第二项关系则是基于陶泥板 IM 58045 的解释，分别见 Høyrup 2002，pp. 266－267，237。

8512 上的突出例子说明这定理的应用①。这是一道相当困难的三角形不等划分问题，它不但解法十分巧妙，而且充分显示了巴比伦数学运用平分梯形以及转变标度的纯熟技巧。题目是：以平行虚线将直角三角形划分为不等的两半，以使分割后的边长度差为 $q = b - a$，面积差为 $S = A - B$；从 q，S 和三角形的边长 h，求分割线长 x，分割后的边长 a，b，以及分割后的面积 A，B（图 1.7a）。

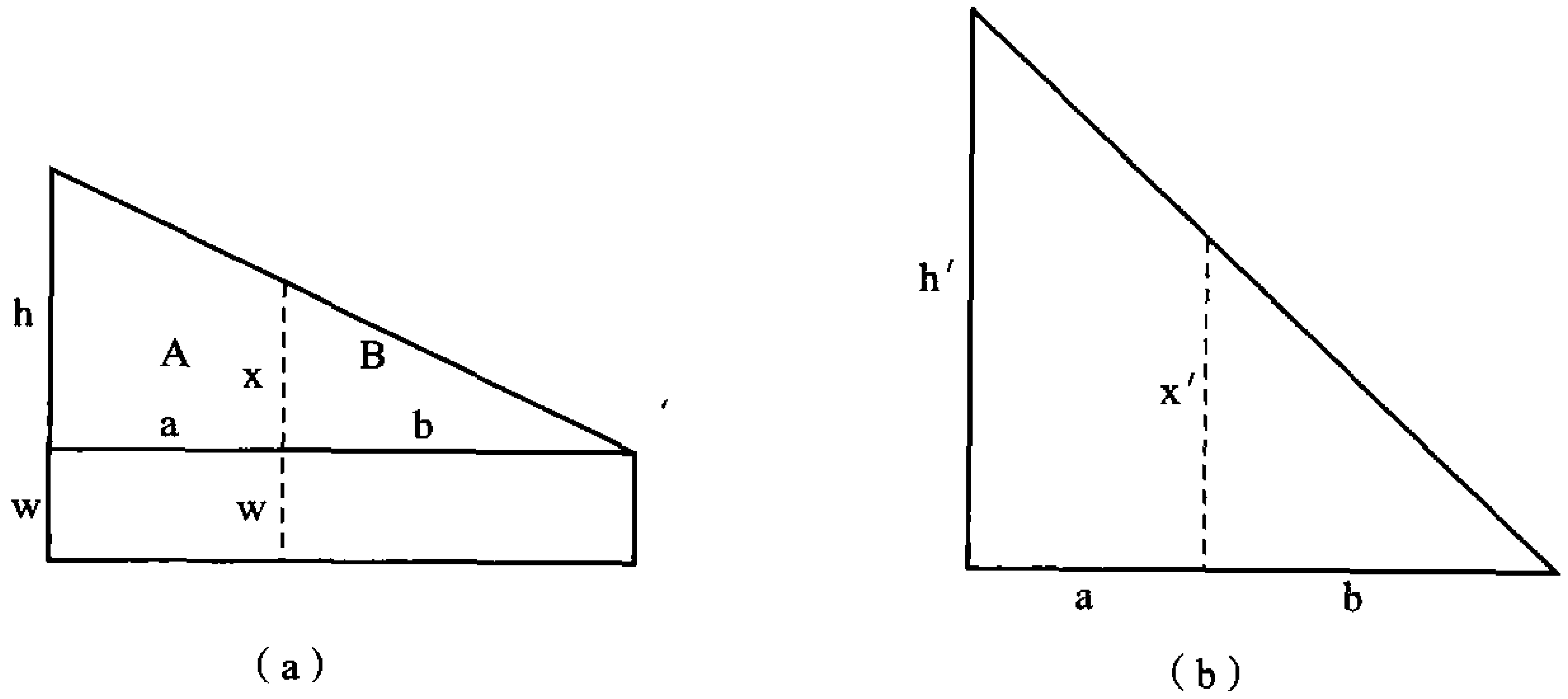


图 1.7 将直角三角形面积作不等分配问题的图解

解法是：在三角形下面附加一个宽度为 w 的长方形，以令两者合并构成一个梯形，并且要求分割线（及其延长）平分这梯形：

$A + wa = B + wb$，即 $w = (A - B)/(b - a) = S/q$

因此长方形宽度 w 可以简单决定。但梯形既然是平分了，那么也就可以用上述有关定理：

$\square(x + w) = [\square(h + w) + \square(w)]/2$

由之可以简单地算出 $x + w$ 并从而决定 x。

但求得 x 之后，还得求边长 a，b 和面积 A，B。为此，板上列出的解法也是颇富于创造性和巧思的（图 1.7b）：改变宽度 h 的标度（scale）以

① 此问题的描述和讨论见 Høyrup 2002，pp. 234 - 238；在原问题和解法中所有长度和面积都是以具体数字给出和运算，此处代以相应的字母符号。此外，pp. 239 - 249 有同类但更复杂问题的讨论。

使三角形成为等边，即令 $sh = a + b$，这样同时还可以得到 $sx = b$，以及 $s(A+B) = \square(a+b)/2, sB = \square(b)/2$，因此

$$s(A-B) = sS = [\square(a+b) - 2\square(b)]/2 = \square(s)[\square(h) - 2\square(x)]/2,$$

这就求得了标度因子 s：

$$s = 2S/[\square(h) - 2\square(x)],$$

由之就可以直接算出 b，a 和 A，B。而倘若试循其他途径解此问题，则可深知上法之巧妙。

毕达哥拉斯定理

数学陶泥板上只有计算的步骤，而很少解释，更没有论述，所以我们并没有巴比伦文士是否具有几何观念的直接证据。然而，从他们所遗留关于正方形、长方形、梯形的大量计算以及相关图解看来，他们肯定并不缺乏关于“垂直”和“平行”的观念——虽然这不一定很抽象或者严格。而且，他们也显然知道和经常利用毕达哥拉斯定理——这并不奇怪，因为这个定理和他们所感兴趣的计算关系非常密切，所以，在多达 9 块陶泥板上的各种计算都可以强有力地证明这一点①。

不但如此，而且奈格包尔在详细研究著名的 Plimpton 322 号陶泥板（图版 3）数表之后认为，撰作此板的文士很可能还知道“毕达哥拉斯数组”的标准生成法。此法如下：令 b，c，d 数组适合毕氏方程式 $d^2 = b^2 + c^2$，即为“毕氏数组”，那么它可以从一任何整数对 p，q（$p > q$）产生，只要令

$$b = p^2 - q^2,\quad c = 2pq,\quad d = p^2 + q^2$$

即可，因为对任何 p，q 来说，前述的毕氏方程恒真。前述 Plimpton 数表共有 4 列，15 行，所列出的除了各行顺序数②以外，是 $(d/c)^2$，b，d 这三列数，其中 d，b，c 是毕氏数组。奈格包尔所发现的是：表中的 c 全部

① 见 Høyrup 2002，pp. 385 – 386。

② 各行顺序则是根据 d/c 值从接近 $\sqrt{2}$ 递减至接近 $2/\sqrt{3}$，也就是说，相关三角形的其中一角从 45°递减至 30°左右。

可以整除 d；由于 $d/c=(p/q+q/p)/2$，这整除的要求意味在六十进制中 p 和 q 的倒数都必须是有限数，而事实上，与表中各行对应的 p，q 值也的确全部是在陶泥板标准倒数表中出现的①。

最后，甚至也还有迹象显示，巴比伦文士可能已经知道“何以”勾股定理是对的——虽然我们并没有证据说明他们曾经发展出“证明”的观念。这些迹象主要系于曾经多次出现的，由四个相同长方形首尾回环连接而构成的一个正方形（图 1.8）②。与此图相关的问题（陶泥板 DB_2-146）是：从长方形的面积 [a，b] 和对角线长 c 求边长 a，b。它的解法意义不是很清楚，但最后是用了勾股定理，而且也牵涉诸如□(a+b) 和□(a-b) 这些面积。而从图 1.8 可以见到，只要考虑由四个长方形的对角线 c 所形成的正方形，那么无论用下面哪一个关系

□(c) = □(a+b) -4[a，b]/2　　（即最外正方形减去四角）

□(c) =4[a，b]/2 + □(b-a)　　（即四角加上中间的小正方形）

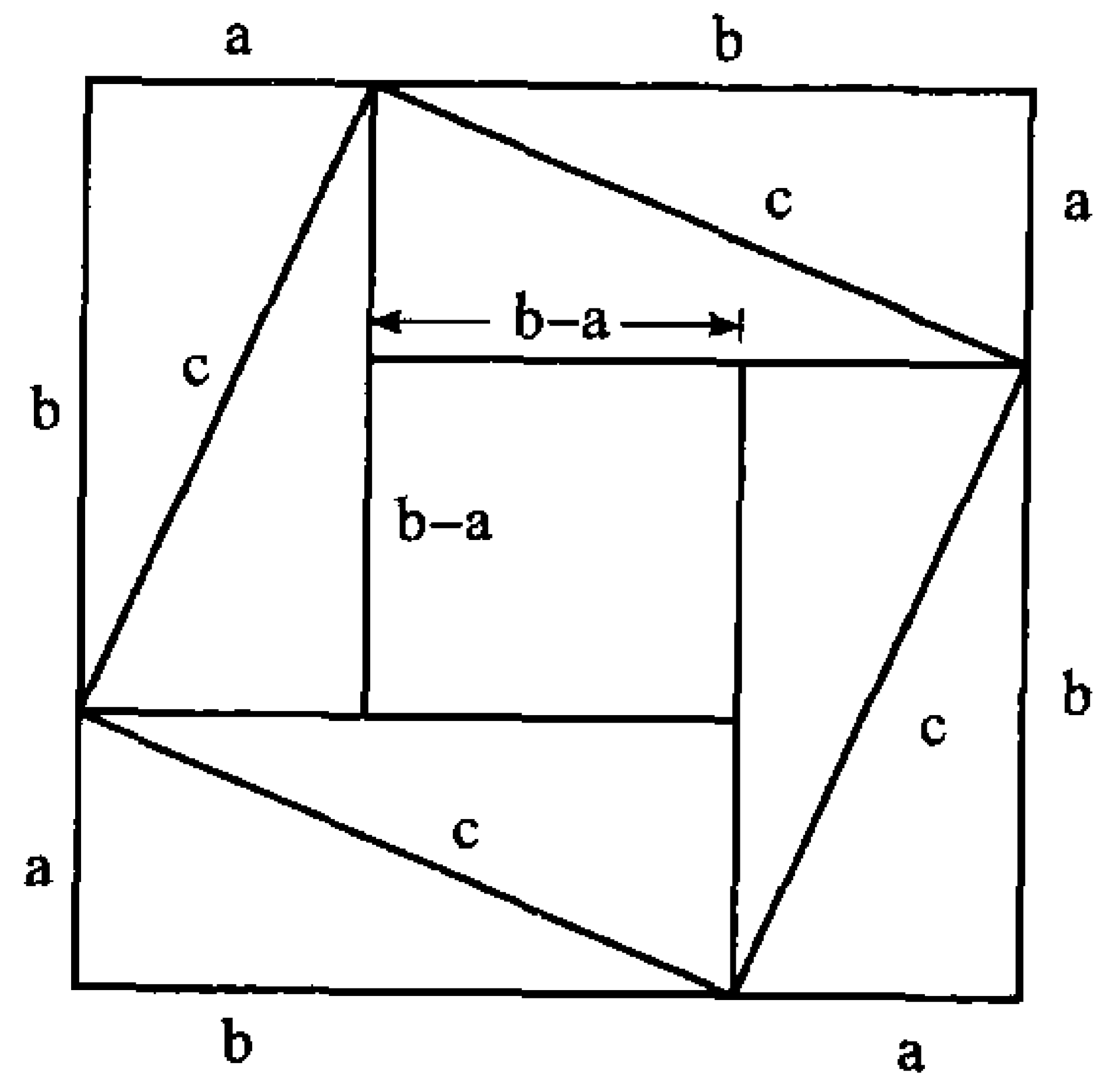


图 1.8　用以证明毕达哥拉斯定理的“环矩图”

就都立刻可以得到勾股定理□(c) = □(a) + □(b)。所以，目前已经出土

① 详见 Neugebauer 1969，pp. 36-40。

② 见 Høyrup 2002，pp. 257-261，385-387，391-399，这部分所处理的是塞琉西王朝时代的陶泥板。图 1.8 出现于所有上引段落。

的文献虽然还不足以支持勾股定理在当时已经得到证明的说法，但综合以上各种证据，说当时对于勾股定理已经有很深刻认识甚至证明意识，那大概是不错的。值得注意的是，图 1.8 和《周髀算经》中用以证明“勾股定理”亦即毕达哥拉斯定理的“赵爽弦图”基本相同，但两者之间是否有任何关系就很难说了①。

远古数学的启示

那么，具有将近四千年历史的两河流域数学除了令人对它的精妙、久远感到震惊以外，到底还告诉了我们些什么呢？首先，它令我们看到，数学发展不一定是稳定和依循直线，更未必是由实用价值所推动的。苏美尔文明遗留在数学陶泥板上的第一阶段数学是缓慢、稳定发展，由实用需求所带动的。这是个历时千年以上的过程：最初出现的是实物记录，它逐步演变为符号、数字，乃至以位置记数法表示的数目，最后四则运算和数表出现。在此阶段数学始终没有超越实用目标，它的内容仅限于具有直接日常应用意义的四则和比例算题。然而，巴比伦文明所显示的第二阶段发展却完全不同：在实用类型问题的延续之外，数学陶泥板上涌现了大量性质上明显属于“超实用”，并且表现了相当高水平的问题。但这并不能够持续：在随后的卡塞特混乱时期和亚述帝国时期数学完全沉寂下来，只有凤毛麟角的一两块数学陶泥板留存；这样一直要到塞琉西时期，才再有数学陶泥板出现。

所以，数学虽然起源于实用，但它的进一步发展也就是“突破”却似乎有赖于“超实用”（supra-utilitarian）的兴趣与动机，也就是纯粹为了好奇或者炫耀而作的探究，以及容许，甚至鼓励这种探究的环境。这种发展带有“突变”甚至“革命”性质，而且它是不稳定的，极可能由于政治、社会、文化环境的改变而受到挫折，甚至消失。海鲁普认

---

① 有关《周髀算经》中勾股定理之证明以及这与“赵爽弦图”的关系，曲安京 2002 第 29－50 页有详细讨论。西方学者如 Cullen 1996 和 Martzloff 1997 也都提到此图，但前者对于《周髀算经》提出了勾股定理之证明这点并不认同。

为，数学的突破性发展之出现于旧巴比伦王朝，很可能是因为它大规模发展了气氛宽松、带有人文气息和自主性的文士学堂（scribal school）。这些学堂提供了具有普遍意义的教育，即所谓博雅教育（liberal education），而不仅仅是狭隘的技术、职业训练。由是相应的专业教师阶层得以兴起，为数学脱离直接实用需求，在小部分“专家”当中向精巧美妙的方向发展提供土壤；同时教材的需求大增——我们今日看到的陶泥板数学文献，大部分就是由此而来。数学要能够发展到相当复杂的程度，并且变为一门独立学问，似乎必须倚靠这些土壤——也就是一个有闲暇也有高度专业兴趣和自豪感的阶层之形成。而这种体制和相应阶层之消失，也可能就是数学突然中衰的原因①。

六、希腊文明的渊源

巴比伦数学充分显示，西方数学有着极其深厚的渊源，其年代之悠久远远超过以往想象——事实上，它的萌芽是和西方文明本身同步的。当然，这个认识突显了另外一个问题，那就是：古希腊数学与巴比伦数学之间究竟有何关系？西方数学大传统的确可以一直追溯到巴比伦乃至苏美尔文明吗？这不是个容易回答的问题，它牵涉到希腊文明与两河流域文明之间的整体关系，因而不免受制于某些学者所固执的观点，从而引起难解争论。不过，在最近二三十年，由于在中东不断出现新证据，这情况已经逐渐改变，希腊文明在多方面受到中东影响这一点，已经再不可能否认，两者之间的传承关系，也慢慢为学界所接受了。

在以往不少学者的印象中，巴比伦和亚述帝国是崇尚武力与君主意志、视民众如草芥的高度集权国家；古埃及则是尼罗河、金字塔和法老王的世界，在彼庞大官僚机构统治百千万黎民，驱使他们夜以继日地开凿、搬运沉重石块，为统治者建造不可思议的巨大陵墓，在他们死后把保存完

① Høyrup 2002，Ch. 10，特别是 pp. 362－367。在此他特别强调，带有娱乐性质的“炫耀性”巴比伦型数学问题，是有别于真正“理论性”亦即古希腊型数学问题的。

好的木乃伊躯体封闭其中，让其安静等待未来的复活。这样忽视个人价值的国度，竟然是追求公平、理性和抽象思维的希腊文明之源头，被认为不可思议，难以想象。然而，古希腊人自己却认为，他们的文化包括数学、哲学是承受于埃及、巴比伦（这指的自然是公元前7—前6世纪之间的“加尔底巴比伦帝国”）、波斯这些远古文明。他们最早的哲人泰勒斯和毕达哥拉斯就都相传到过埃及和巴比伦，并且曾经长时期在那里的神庙跟随祭司学习。他们的“历史之父”希罗多德（Herodotus）猜测，几何学本来是埃及人为了每年尼罗河泛滥之后都得重新丈量土地而发明的。柏拉图在《对话录》中也一再藉埃及祭司的口吻，提到他们悠久的传统和深不可测的累积智慧，在其面前希腊哲人只不过像是孩童。整体而言，在古代希腊人观念中，东方的远古文明是博大渊深，不可忽视的，他们自己的成就虽然值得自豪，但不可能凭空而生，其源头必然和远古文明有关。当然，上述传闻、猜测并无具体细节，《对话录》也颇不乏寓言、夸张和想象之词，所以在缺乏有力旁证的情况下，许多前代学者认为，那都只不过是古希腊人震惊于这些文明之久远而生出的想当然说法，不足深信。然而，传世古史为后来出土资料所证实的例子在近代考古学中屡见不鲜，我们现在也不可能对这些根深蒂固的传闻采取一概抹杀的态度了。

希腊主义的退潮

事实上，希腊文明整体（而不仅仅是其科学）与远古文明的关系在四十多年前就已经受到西方学界关注了。当时考古学家戈登（Cyrus H. Gordon）在其《希腊与希伯来文明的共同背景》一书中提出来这样肯定的观点：“在诸如乌格列的考古发现令我们不再能够将希腊视为密封的奥林匹克奇迹，或者将以色列视为真空包装的西奈半岛神迹……希腊与希伯来文明都是建立在东地中海同一基础上的平行结构。”① 他的观点基本上是由叙利亚海岸古遗址乌格列（Ugarit）之发现而触发，但论据则建立在许多有相同结构的史诗、故事之比较上，例如希腊的《奥德赛》（*Odessy*）

① Gordon 1962, p. 9.

与苏美尔的《基格米殊》，希腊的《伊利亚特》（*Iliad*）与乌格列的《克勒特》（*The Epic of Kret*），希伯来的《出埃及记》与埃及中王朝时代的民间故事《辛努赫》（*The Tale of Sinuhe*），等等。在此后大约十年，这种观点从文学扩展到哲学：牛津的古典学家韦斯特（Martin L. West）研究希腊最早期哲学与东方的关系而得到了这样的结论："公元前550—前480年是伊朗积极影响希腊思想发展的一个突出时期。"他所说的，正是阿那克西曼德（Anaximander）、阿那克西米尼（Anaximenes）、毕达哥拉斯（Pythagoras）、赫拉克利特（Heraclitus）、巴门尼德（Parmenides）这些"前苏格拉底"自然哲学家的开创时代。他认为，波斯居鲁士（Cyrus）大帝吞并米堤亚（Mede）王国，可能就是引致该地称为"马古斯"（Magus）的哲人大批移居小亚细亚西岸，从而刺激希腊哲学兴起的原因①。

但是，即使到了上世纪90年代，对于这些观点仍然不是没有抗拒。持开放观点的德国学者布尔克特（Walter Burkert）在《东方化革命：近东对希腊文化在古代早期的影响》一书中就说得很感慨，也很坦白："……即使在今日，要持平地讨论古典希腊与东方的关系还是困难，谁要作此尝试就会碰到不可动摇的观点、不安、辩护，乃至忿恨。谨慎的防卫心态将陌生与未知事物拒诸门外。在很大程度上，这是开始于两个多世纪之前，而主要生根于德国的思潮之结果。"不过，正如他跟着所指出的那样，自20世纪中叶以来，这一度声势浩大的"希腊主义"（Hellenism）已经在大量证据面前逐渐退潮。希腊文明之在许多方面受到两河流域和其他中东文明的深刻影响，已经是不争事实了。他自己的著作引用了大量古希腊与中东有关其史诗、神话的考古发现，以将两者联系起来，其中最引人注目的，包括中东的可怕女怪拉马什图（Lamashtu）与希腊的蛇发女怪戈耳工（Gorgon）之相似；以及希腊英雄珀耳修斯（Perseus）在雅典娜帮助下杀死戈耳工的铜刻画像，与基格米殊杀死怪物洪巴巴（Humbaba）的中东圆柱形陶泥印章之如出一辙，等等②。但是，戈登与布尔克特所搜

---

① West 1971, pp. 239 - 242.

② 分别见 Burkert 1992, pp. 1, 82 - 87。

集的证据虽然广泛，真正深入而细致的考究则有待韦斯特继其70年代工作之后，于20世纪末出版的巨著《赫利孔山的东面：希腊诗歌与神话中的西亚素材》①。以下我们就此书所讨论的问题以及相关历史与宗教背景稍微再作一点说明。

赫利孔山的东面

希腊的信史大致从首届奥林匹克竞技会（公元前776）开始，可是，毫无疑问，希腊文化上第一件大事是荷马（Homer）史诗的出现。它的确切年代已经不可考，希罗多德认为是在自己之前400年，即公元前850年左右，这个估计是大家历来接受的。在此之前，最具有决定性，最能够熔铸希腊意识的事件，就是作为荷马史诗《伊利亚特》主题的特洛城（Troy）战争。此长篇诗歌所记载的希腊联军远征特洛城的故事历来被视为神话、传说，但我们现在知道，它虽然有不少想象和编造成分，但叙事框架和许多细节却并非向壁虚构，而的确可以通过考古和文献研究找到根据。特别是，经过了20世纪多次田野发掘，考古学家发现了在小亚细亚西北近达达尼尔（Dardarnelles）海峡入口处的特洛城多层遗址。它是控制欧亚之间以及地中海与黑海之间贸易的交通枢纽，历史极其悠久，在公元前3000—前1300年一共经过六个时期的累积，至于第七期（Troy VIIA，公元前1300—前1200）则是个非常富裕和强大的政治、军事和贸易体系的中心。此城在公元前1200年左右焚毁，其后完全衰落。因此它所反映的，应当就是《伊利亚特》所描述的战争，亦即希腊构成民族三支之一的亚该亚族（Achaeans）联军渡海征服特洛城这个希腊史上的大事②。

荷马在世大约是公元前850至前750年之间，比特洛战争只晚三四百年。他是爱奥尼亚海岸希俄斯岛（Chios）人——或者，应该说，他的后裔族人称为“Homeridae”者在该岛繁衍，那里北离特洛城160公里，南

① West 1997.

② 希腊古代历史的一本近代标准著作是Hammond 1986。

离自然哲学发源地米利都（Miletus）、萨摩斯（Samos）只百余公里[①]。他的史诗不但为当时的历史、社会留下重要见证，并且在两方面塑造了希腊文明。其一，是熔铸希腊的民族意识；其二，更重要的，是塑造了希腊早期的朴素宗教观，在其中奥林匹克山上的众多神祇在感情、私欲、行事作为上与凡人一般无异；神与人之分别，只在于前者能力极其强大，而且长生不老，这两点为凡人所绝对无法企及——正如一般民众不能企及阿伽门农王（Agammemnon）或者其他部族首领的体能和权力一样。色诺芬（Xenophanes）说得好："从头开始，人人都是从荷马那里学来的。"[②]

然而，《伊利亚特》是完全出于原创的观念，现在已经被打破了。在哥顿和布尔克特工作的基础上，韦斯特更进一步，在《赫利孔山的东面》一书中以大量文献比较和研究证明：荷马的伟大创作并非凭空而来，它有无可置疑的东方渊源。那也就是说，《伊利亚特》的布局、情节、描述笔触，甚至它的主角，具有悲剧命运的大英雄阿喀琉斯（Achilles），都并非纯粹凭当地的传说和个人想象创造出来，而是有所本的。所有这一切的本源，就是在苏美尔文明中出现，而其后在中东广为传播的《基格米殊史诗》（*The Gilgemesh Epic*）[③]。事实上，大英雄基格米殊正是《伊利亚特》悲剧性主角阿喀琉斯的原型。这个长久以来为西方学者忽略的关联，现在已经由于大量陶泥板文献的出土与解读，以及少数学者锲而不舍的长期钻研得以证实。根据布尔克特和韦斯特的考据，荷马的另外一首史诗《奥德赛》（*Odessy*），以及其他早期希腊文学，诸如与荷马大致同时的赫西奥

---

① 荷马的年代有高度争议：根据希腊最早的史家希罗多德，《伊利亚特》作于公元前 850 年；近代学者的大量研究则将之后移至公元前 750 年左右，见 Bowra 1950，Ch. 12。由于《伊利亚特》内容繁复，而故事结构、音韵、用词仍然有高度一致性，因此一般学者都认为，它有单一作者，即荷马的确是历史人物。

② Xenophanes Fr. 10，Freeman 1962.

③ 基格米殊事迹的记载出现于公元前 2600 年，有关他的史诗最早出现于乌尔第三王朝末年，即公元前 2000 年左右，那是以苏美尔语和楔形文字书写的，但其继续发展和广为流传则是在旧巴比伦王朝，而变为阿卡德语的著作。它最完整的标准本子则是发现于尼尼微城图书馆的"十二石板本"，属亚述奔尼泊王（Ashurbanipal，公元前 669 - 前 633）时期。此史诗有下列附有长篇导言以及源流考证的楔形文字—英文对照本：George 2003。

德（Hesiod）的《神统纪》（*Theogony*）和《工作与人生》（*Works and Days*），以及前5世纪悲剧作家埃斯库罗斯（Aeschylus）的作品，乃至希腊早期的宗教观念，等等，也莫不深受近东影响。威斯特在他的书题中特别提醒我们，希腊众文艺女神缪斯（Muses）所居的赫利孔山（Helicon）有其向东的一面，就是此意。

东方文明西传的途径

但东方的神话、史诗，是如何西传的呢？根据韦斯特的论证，这开始于新亚述帝国于公元前934年兴起：它的军队在半个世纪后到达巴勒斯坦海岸，随后一再入侵腓尼基（Phoenicia）和小亚细亚东南的西利西亚（Celicia）海岸。因此，在迈锡尼文明覆灭和古典希腊文明形成的最初阶段（见§2.1），两河流域文明势力同时到达已经希腊化的塞浦路斯岛东面和北面海岸，为东方文明的西传打下了基础。但真正关键性的转变则可能来自提革拉帕拉萨三世（Tiglath-pileser III，公元前744—前727）所推行的大规模民众迁徙政策，即将所征服地的民众迁徙到两河流域，同时将大量亚述、巴比伦民众迁徙到腓尼基、西利西亚。从这时候开始，亚述帝国与塞浦路斯希腊政权的军事冲突以及政治交涉也开始有明文记载了。总的来说，从公元前9世纪开始，东方文明往西传播到希腊的途径就已经具备，其枢纽极可能是乌格列和塞浦路斯①。

当然，即使有了政治和经济接触，抽象的文化内容诸如宗教信仰、文学著作、科学观念等等到底以什么方式传播，也还是一个不容易回答的问题——由于阿卡德语和楔形文字从来未曾在爱琴海世界流行，这个问题更为突出。在这方面有许多猜测，其中可能性最大的，是通过贸易、婚姻、谋生、逃难、应聘、流浪、寻找工作等各种原因而产生的人口流动。在当时海上交通已经十分普遍，但对人口的控制远不能和近代相比，因此这种流动是相当自由和广泛的。经常为学者引用以说明这流动之普遍性的，是《奥德赛》里面奥德修斯（Odysseus）的老仆人尤美乌斯（Eumaeus）所

---

① 这方面的讨论见 West 1997，Ch. 12，特别是 pp. 624 - 630 的结论部分。

说的："谁会跑到别处去请回来一个陌生人呢？除非（请的）是对大家都有用的人，像占卜的，治病的，做木工的，甚至能够演唱取悦的歌者吧？这些是在无垠大地上往来，而会受到邀请的人。"①

科学文献上的证据

因此，自公元前9世纪以来，希腊与埃及、巴勒斯坦、两河流域、波斯这些东方文明并不是分离、孤立的，而是在艺术、器物、文学、宗教等各方面都有交流，因而受其影响。在此大背景下，旧巴比伦数学依循相类似途径和方式渗透、传播到爱奥尼亚，从而影响希腊数学发展的可能性是难以排除的。例如，迟至公元前3世纪，仍然有巴比伦祭司迁徙到小亚细亚西海岸，并且开设学校教授天文学的事实（见§4.5）。但是，除了希腊早期哲人曾经在东方游历的多处记载以外，这种可能性还有什么其他更为直接的证据呢？必须承认，相对于文学、宗教、民俗等各方面而言，能够显示这些文明之间在科学上也有传承关系的资料并不多。这巨大差别可能反映了希腊文明在科学上的创新能力，但恐怕也有一部分是由于科学领域的性质不同，即它只关乎极少数精英分子的活动，因此遗留下来的传承痕迹十分稀少。

不过，虽然如此，也仍然有例外。那就是在欧几里德的经典《几何原本》第六卷之中，有许多公式事实上与其前1300多年在巴比伦陶泥板上所记录的结果如出一辙。当然，在《原本》中这些成果已经转变为在严格基础上证明的普遍定理，从而被赋予崭新意义。但这显然就为希腊数学曾经受到巴比伦某些数学成果的启发、刺激而萌芽、发展，提供了相当坚强有力的证据（见§5.2，特别是表5.1）。那也就是说，像泰勒斯、毕达哥拉斯那些早期哲人的数学意识乃至具体认识，的确可能是如传说的那样，是在其游历中得之于"东方"；又或许是如《奥德赛》所描述的那样，通过社会上各种渠道，间接吸收了"东方"数学成果。除此之外，我们还有若干证据表明，巴比伦的几何代数学一直没有消失，而是成为巴

---

① *Odessey* 17.382－386，作者译文。引用此段的，尚见 West 1997，p.611；Burkert 1992，p.6。

格达地区的民间传统，而这颇有可能就是伊斯兰代数学的根源（见§8.3）。倘若如此，那么它之影响古希腊数学也就不足为奇了。所以，无论其具体途径如何，我们都不能不承认，希腊科学渊源是极可能上溯至将近四千年前之古巴比伦文明的。

第二章　自然哲学传统

希腊科学是从自然哲学开始的，早期科学家就是自然哲学家，从泰勒斯（Thales）、芝诺（Zeno）以至德谟克利特（Democritus）都是如此。希腊哲学从头就与科学相近：它致力探究大自然奥秘而忽略人事，喜好抽象理论而忽视实用技术，其所反映的，是所谓“重智”精神。这与中国讲究人伦、社会、实用的“重德”精神，分别代表两种完全不同的文化倾向。希腊哲学以柏拉图为宗师，他极端重视数学，认为它是完美与恒久理念的代表，也是培育“哲王”的理想教材；中国圣人孔夫子所看重的则是“克己复礼”和忠恕之道，而绝少谈论自然事物，“夫子之言性与天道，不可得而闻也”。这截然不同的两种观念、气质，虽然不能够涵盖西方与中国文明的整体——毕竟，希腊哲学还有“重德”的苏格拉底和以实效为尚的“智者”，诸子百家之中讲论天道与阴阳五行的也大有人在，但两大文明基本分野所在也就昭然若揭了。

为什么东西方文明的基本取向如此之南辕北辙呢？这很难回答，大概与历史、地理不无关系。孔夫子之看重社会与人伦并非个人原创，而是继承和发扬肇自远古的思想，亦即尧舜禹汤文武周公的悠久传统，其终极目标是在广大土地上维系农业社会的和谐稳定，以及延续家族和政权命运。希腊自然哲学家所处，却是分散于希腊本土、小亚细亚西海岸和南意大利，由移民集团所建立的众多细小城邦，彼此不相统属，背后更没有久远或者强大政治传统；从文化上来说，希腊并不“源远流长”：从泰勒斯等自然哲学家看来，塑造希腊意识的大诗人荷马只不过比他们早数百年而

已。在这样的动态环境中，个人的好奇心与推理、幻想能力得以自由发挥，而并不拘泥于现实和群体问题，是很自然的事情。所以，要了解希腊的自然哲学，还需要从他们的历史与社会背景开始。

一、爱琴海的世界

和出现于大河流域的几个远古文明相反，希腊文明是以爱琴海中无数港湾、半岛和岛屿为中心的，这包括：海西岸的希腊本土，南边的克里特岛（Crete）和罗德斯岛（Rhodes）；东边的小亚细亚沿岸地区，即所谓爱奥尼亚（Ionia）；北边的色雷斯（Thrace）；中南部星罗棋布的基克拉泽斯（Cyclades）群岛；此外还有西边的西西里与意大利半岛南端，即所谓"大希腊"（Magna Graecia）。这高度破碎的地形阻止了强大政治力量的凝聚，因而有利于邦国并立和个别文化的独立发展。但由于海上交通的发达，一种松散的整体文明亦得以逐渐形成，它并非以建立一统政治秩序为主要关怀，所以和大河流域文明有显著分别。

希腊文明的成熟大约可以以首届奥林匹克竞技会（公元前776）为起点，那大致上也是斯巴达宪章和特尔斐神庙（Delphic Sanctuary）等重要体制出现的时代。它的前身是以克里特岛为中心的米诺斯（Minoan）文明，和在希腊本土继起的迈锡尼（Mycenaean）文明①。但它与这两者的传承关系并不很直接，因为被长达400年的大混乱时期居间隔开了。

迷宫中的牛魔：米诺斯

在希腊意识中，米诺斯和居住在迷宫中吞食少男少女的"米诺牛魔"（Minotaur）故事分不开，这在历史上倒是颇有根据。米诺斯文明发源于克里特本地，根源可追溯到新石器时代，但成形于公元前2000—前1750年，在公元前1600—前1500年期间达到高峰。它的特点是以文字（即所

---

① 有关米诺斯文明、迈锡尼文明以及两者之间的关系，见 Hammond 1986, pp. 19 ~ 91 及以下专著：Chadwick 1976，此书对于这两个早期文明的社会状况与文字有详细讨论。

谓 Linear A Script）为基础的行政管理，在克诺索斯（Cnossos）庞大和构造复杂的宫殿，以及带来巨额财富的海上贸易——当时它已经成为东地中海一个庞大海上帝国的中心，与新王朝时期的埃及有频繁外交与商贸关系。在宗教上它崇拜抓蛇的女神，祭司一般都是翩翩少年，相传中的米诺斯很可能就是这样一位祭司，其壁画所描绘的“戏牛”运动或者祭祀仪式，则可能是牛魔故事的原型。在这些壁画中米诺斯文化表现为对于青春、自然和美的向往、崇敬，而没有崇尚勇武和战争的意念，这与两河流域文明迥异。然而，它的复杂建筑形式以及以陶泥板为书写媒介这两点则明显承袭于两河流域。米诺斯文明的重要性在于：它是联系希腊本土与“东方”，即巴勒斯坦、两河流域以及埃及的枢纽。

米诺斯文明的转折点是公元前 1500 年在其正北方 160 公里的锡拉（Thera）岛极其猛烈的火山爆发，它所产生的巨大海啸与遮天蔽日的火山灰可能对整个东地中海，特别是克里特岛北岸造成了近乎毁灭性打击①。这空前灾难严重削弱了米诺斯帝国，令来自希腊本土的力量得以在公元前 1450 年大规模入侵，然后占领、控制克诺索斯；在公元前 1400 年克诺索斯遭到第二次同样来自海上，但更为全面和彻底的打击，自此米诺斯文明就消失了。

阿伽门农王遗址：迈锡尼

从发思古之幽情的角度来说，在雅典西南大约一百公里的迈锡尼遗址，应该就是当年远征特洛城的希腊联军统帅阿伽门农（Agammemnon）王宫殿所在地，这在历史上恐怕不能够成立，但也并非全然无稽。其实，缔造希腊文明的，前后统共有三波来自巴尔干或者更遥远北方山区

---

① 此次火山爆发比之著名的 1883 年印尼喀拉喀托（Krakatoa）火山爆发犹远远过之，因为从今日地形看来，锡拉岛的绝大部分在此次爆发中消失，只留下直径达 10 公里的圆洞。有证据显示，由是产生的海啸波浪在锡拉岛附近高达 250 米，克里特岛北岸对之没有任何屏障，因此遭受毁灭性打击是相当肯定的。从邻近海底火山灰沉淀的厚度看来，事发的时候吹西北风，因此对克里特岛的影响也特别严重。此问题的详细讨论，见 Chadwick 1976，pp. 8－12。

的大规模武装移民：（1）最早的是公元前2000年南下，定居于希腊本土的爱奥尼亚人（Ionians）；（2）跟着是公元前1600—前1500年南下，发展出迈锡尼文明的亚该亚人（Achaeans）；（3）最后则是公元前1200—前1100年亦即特洛战争时期南下的多利安人（Dorians）。这三支民族的语言和定居地都不相同，在希腊诗歌和历史中大体上还可以分辨。所谓迈锡尼文明大体上是亚该亚人在希腊本土所建立的青铜文明，它的特点包括：处于圆寰内的大型集体墓葬、高度发展的精美青铜武器，以及坚固的防御性碉堡，这在考古遗址中还有大量遗留；它的壁画和器物装饰表现了强悍的尚武精神，这很可能也是它发展海上贸易的手段。克诺索斯在公元前1450年被攻击和征服，大概就是迈锡尼战士越海征战的结果，其后它在克里特文字基础上发展出表达希腊语言的拼音文字，即所谓 Linear B script。

从公元前1400年开始，迈锡尼文明的扩张加速，很快就泛滥整个爱琴海世界。它最突出的表现，自然是庞大与辉煌的远征特洛城，那可能是牵涉全希腊和小亚细亚西部城邦，历时数十百载的长期战争。其后，为了至今还不清楚的原因，这次战争触发了地中海东部长达400年的大混乱时期：自此迈锡尼文明衰落，青铜时代结束，而且小亚细亚半岛上的强大赫梯王国、叙利亚北部海岸的主要城邦乌格列，乃至埃及的新王朝，都相继覆灭。这有可能是亚该亚族联军在破城之后分散成为多股武装移民集团在地中海东部闯荡，冲击原有政治秩序所造成。其中一个后果是塞浦路斯岛于公元前1200—前1100年间出现了多个希腊据点，并引致与其隔海相望的贸易枢纽乌格列也开始希腊化。另一个可能性则是特洛城本来是迈锡尼文明的屏障，它的覆灭令北方蛮族，包括前述的多利安人得以自由涌入希腊本土，本来已经在希腊定居的爱奥尼亚人因此被冲击、驱赶，向爱琴海诸岛屿和小亚细亚西岸扩散。上面两个因素都有可能产生连锁反应，从而造成持续到大约公元前800年，即荷马时代才结束的大混乱。

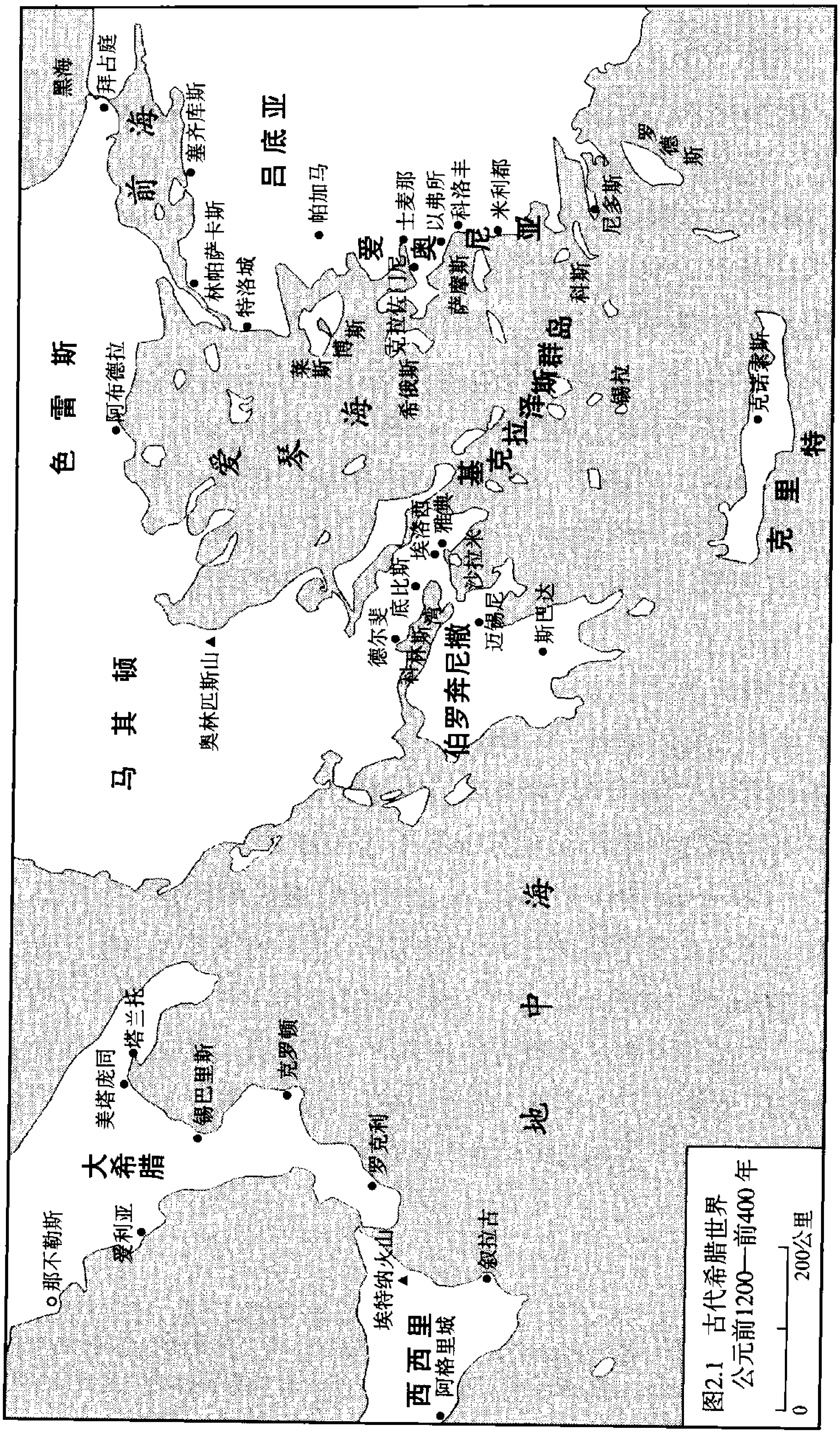


图2.1　古代希腊世界
公元前1200—前400年

希腊文明的成型

此期间最早来到希腊的爱奥尼亚人也饱受冲击，因此集中到以雅典为中心的阿提卡（Attica）区域避难，从公元前1050年左右开始更组织多次大规模海外移民，占领小亚细亚西海岸中南部，这和雅典有密切关系的殖民区域因此也称为爱奥尼亚（Ionia）[①]。这区域海岸曲折崎岖，岛屿星罗棋布，多港湾峡谷，缺乏向内陆延伸的宽广腹地，因此形成许多具有联盟关系，但互不相统属的城邦殖民地，诸如希俄斯、士麦那（Smyrna）、萨摩斯、米利都、科洛丰（Colophon）、科斯（Cos）、尼多斯（Cnidos）、以弗所（Ephesus）等等。它们一方面成为希腊城邦政体的滥觞；另一方面，由于其地理位置，又成为希腊本土与东方的贸易、文化交流中介。所以日后希腊哲学与科学发源于此并不是偶然的。

到公元前9世纪中叶，大移民所产生的狂飙激流过去，情况逐渐恢复安定，西亚特别是腓尼基海岸即今日巴勒斯坦一带的影响又得以再次通过塞浦路斯和克里特岛这南方联络线而达到希腊本土。这影响包括大量的精美工艺制品，例如，雅典大量行销海外的陶器之所以会发展出所谓“几何风格”（Geometric Style），基本上就是受此刺激而创造出来。但最关键和重要的，无疑是腓尼基拼音字母的传入：它不但迅速被接受，更与迈锡尼文明的Linear B文字结合，跟着蜕变成适合于希腊语的希腊字母，然后广泛传播，使得整个爱琴海世界迅速进入书写时代，希腊文化因此迎来飞跃发展时期。希腊最早的诗歌、政治宪章、宗教体制、历史记载，特别是列王表等等，都在公元前850—前750年期间出现，为它的古典文化奠定了宽广的基础。

---

① 其实远在爱奥尼亚人到来之前，这一带就已经有前期希腊文化了。例如米利都的遗迹可以追溯到公元前15－前14世纪，而且表现了丰富的、兼具迈锡尼文明和米诺斯文明的特色。见Greaves 2002，pp. 56－69。至于有关希腊古典文明的形成，见Hammond 1986，pp. 92－175。

二、自然哲学概观

公元前6—前5世纪是雅斯贝斯（Karl Jaspers）所谓的“轴心时代”（Axial Age），古代主要文明的思想特征和文化传统都形成于此时：在印度，这是佛陀时代；在波斯，这是琐罗亚斯德（Zoroaster）时代；在中国，这是孔子、墨子和孙子的时代；在希腊，这是泰勒斯、毕达哥拉斯等自然哲学家的时代[1]。但东西方哲学出现的年代虽然相同，过程却迥然而异。孔子代表正统思想的振兴，希腊的自然哲学却是个“周边现象”，它是以边缘影响中心，然后逐步渗透中心，成为主流的。

具体而言，希腊哲学最先出现于海外殖民地：最早的米利都学派（Miletian School）出现于东边的爱奥尼亚；随后的爱利亚学派（Eleatic School）出现于西边的所谓“大希腊”，即意大利半岛南端和西西里岛；此后由于偶然机缘，哲学开始在雅典萌芽，但最晚的原子论学派（Atomic School）则出现于东北边的色雷斯（表2.1）。就问题意识和思想倾向而言，则所有这些哲学流派都是和其时的希腊主流文化相异的：它们的基本关怀在于无关实际的宇宙和大自然问题，因此称为“自然哲学”，而并非向来主宰希腊人心灵的奥林匹克诸神，或者如火如荼迫在眉睫的政治、军事问题，例如波斯大军兵临城下，雅典斯巴达互争雄长，贵族、僭主与民众政体激烈竞争，等等。不但如此，它的思维模式也几乎全然以思辨为主，也就是推理的、抽象的，绝少涉及政治和社会的实际考虑。相比之下，中国哲学的开山祖师孔子、老子、墨子、孙子等都出生、成长、活动于齐鲁中原核心地区，他们所关怀用心者，大部分在仁义、礼乐、军事、治乱兴衰等实际政治社会问题，和西方同期的哲学家形成强烈对比。换而言之，中国哲学是顺着，接续着自尧舜禹汤文武周公以来那个讲究伦理和治道的大传统发展，希腊哲学则是在荷马、赫西奥德、梭伦

---

① 见 Jaspers 1953。但雅斯贝斯原来的“轴心文明”例证并没有包括希腊的自然哲学之兴起，因为它以近乎宗教信仰的“性灵”（spiritual）发展为核心观念。

等的文学和政治传统以外自立门户，另辟蹊径。

表 2.1　“前苏”哲学流派的时代和地域分布

时代	爱奥尼亚	南意大利和西西里	色雷斯	雅　典
前 6 世纪前半叶	米利都学派：泰勒斯、阿那克西曼德、阿那克西米尼			
前 6 世纪后半叶	赫拉克利特	自爱奥尼亚移居大希腊：毕达哥拉斯及其学派；色诺芬		
前 5 世纪前半叶		爱利亚学派：巴门尼德、芝诺、恩培多克勒		阿那克萨戈拉（自爱奥尼亚移居）、普罗泰戈拉
前 5 世纪后半叶			原子论派：留基伯、德谟克利特	高尔吉亚、希庇亚斯

早期希腊哲学的这两个主要特征，即在边缘地区发展，和以探究自然为宗旨，到苏格拉底而发生变化：从前 5 世纪末叶开始，哲学活动逐渐集中到雅典，而生命、道德、政治也慢慢地成为基本关怀的一部分。这决定性的改变有许多原因，其中最重要的，可能是柏拉图“学园”所发挥的魅力和影响力，以及“智者运动”（Sophist movement）的兴起。所以，把希腊哲学最初的一个半世纪（约公元前 600—前 450）称为“前苏格拉底”时期，是很自然的。

相传众多“前苏格拉底”哲学家有大量著作，不幸这些都没有完整地流传下来，因此他们的事迹、师承、学说只能够依据后人著述，特别是柏拉图的《对话录》以及亚里士多德的《论天》、《物理学》、《形而上学》等著作而间接得知。亚氏的著作很可能是在教学讲义的基础上整理出来，他在其中对前代哲学家有系统的论述，颇有学术史味道。至于散见于各种典籍的“前苏格拉底”哲学家原著片段（包括某些长篇）则为 19

世纪德国学者弗兰克（Erich Frank）及迪尔斯（Hermann Diels）所搜集，编辑成《前苏格拉底残篇》，此集为英国学者弗里曼（Kathleen Freeman）翻译成英文，更另以专著辅翼并行①。

三、米利都学派

希腊自然哲学起源于公元前6世纪的爱奥尼亚，它的始祖是泰勒斯。他出生和活动于小亚细亚西端的米利都（Miletus），弟子阿那克西曼德和徒孙阿那克西米尼也是米利都人，他们所建立的，就是所谓米利都学派。在此学派以外，爱奥尼亚还有三位重要哲人：出生于萨摩斯的毕达哥拉斯和出生于科洛丰的色诺芬，这两位比泰勒斯晚大约半个世纪，早年受米利都学派影响，后来都迁移到意大利南部的“大希腊区”；第三位是出生和终老于以弗所的赫拉克利特。这一群公元前6世纪的爱奥尼亚哲人声气相通，相互激发，他们就是希腊哲学和科学的开创者，也是柏拉图和亚里士多德的前驱。除此之外，希腊早期好些重要科学家，例如数学家希波克拉底（Hippocrates of Chios）和尤多索斯（Eudoxus），还有作为希腊医学始祖的另一位希波克拉底（Hippocrates of Cos），也都出自爱奥尼亚，因此这海岸区是希腊自然哲学名符其实的摇篮。

开山祖师泰勒斯

泰勒斯（Thales，约公元前620—前550）是希腊哲学开山祖师，他和雅典宪政之父梭伦（Solon，公元前638—前558）一样，被公认为古希腊“七贤”（The Seven Sages）之一②，显示他不仅仅以学问、见识和思想知

---

① 以上三种著作分别为 Diels and Kranz 1951 - 1952；Freeman 1962；Freeman 1959。本章的原始资料主要取自 Freeman 1962，以及第欧根尼的《名哲言行录》即 Diogenes Laertius/Hicks 1965，在此书中表2.1所列出的哲学家除了高尔吉亚和希庇亚斯之外都有传。至于与本章相关的论述则主要参考以下著作：Guthrie 1962 - 1981，vol. 1 - 2；Freeman 1959；Kirk，Raven & Schofield 1983；Zeller 1963；汪子嵩等《希腊哲学史》第一卷。

② “七贤”究竟为哪些人，有多种不同说法，但泰勒斯在所有说法中都稳占首席，没有异议。

名，也还有实际才能和城邦领导地位，亦即是说，当时“哲人”角色尚未分化，未曾完全和贤明长者、领导者的角色分别开来。无论如何，希腊哲学传统是由他触发，并且在相当程度上是由于他的魅力、典范而走上“重智”道路。有关他的论述很多，我们要特别提出来的，主要有以下三个方面①。

（1）数学和天文学

泰勒斯以数学和天文学知名：相传他曾经利用日影推断金字塔高度，和在海岸高处测量远方船舶的距离，因此被认为是把几何学从埃及传入希腊的第一人。除了以上述实用测量技术之外，他还有更确切的原创性贡献。根据普洛克鲁斯（Proclus）在《欧几里德〈几何原本〉第一卷评述》的记载，泰勒斯“自己作出许多发现，又把有关其他的原理传授给后人，其解题方法或诉诸普遍理论，或倚靠实践经验”，而且他首先发现以下几何学定理：（i）圆为其直径所等分；（ii）等腰三角形两对应角相等；（iii）两直线相交所形成的对顶角相等；（iv）三角形为其任何一边及其旁两角所决定②；此外，第欧根尼还在《名哲言行录》中提到，他发现（v）半圆中对应于半径的内接角是直角。但这些“发现”到底是原创抑或从埃及引入，是否连带有证明或者推论，就都不甚清楚。

泰勒斯又是希腊第一位天文学家，曾经测定冬至与夏至点，又曾经准确预言在公元前585年会发生日蚀。这次是近乎日全蚀，事发当日邻近米利都的吕底亚（Lydia）王国与入侵的波斯军队正在交锋，双方由于大地陡然昏暗而惊慌停战，因此他的预言特别令人震惊——其后不久，他就被推尊为“贤人”，而日蚀之年，以后也被视为希腊哲学的起点。不过，无论在当时甚至两三百年后，准确预测日蚀其实都还超出科学计算能力。所以他的预言大概是基于巴比伦的“沙罗斯”（Saros）周期，即日月蚀大约每18年又10日重现的粗略经验规律，以及埃及在公元前603年曾经发生日

① 关于他的论述，见 Guthrie 1962，pp. 39－72 以及下列专书：O'Grady 2002。

② Proclus/Morrow 1970，pp. 65ff.

蚀的事实，而并非来自对天体运动和日月蚀成因的认识①。

泰勒斯的数学和天文学知识、发现可能被渲染、夸大，然而他受东方影响，从之吸收大量观念与知识，自己也作过深入思考，有所发明，因此能够以其学问、见识、魅力营造风气，将希腊心灵引向理性思维与自然界的探究，则是不争的事实。

（2）原质观念：从神祇到理性

在数学和天文探究以外，泰勒斯还有更重要的贡献，那就是提出宇宙"原理"，即其基本质料和运行原则为何的问题。这从根本上改变了希腊人观察、了解世界的角度和方向。在公元前6世纪之前，希腊人的宗教观乃至宇宙观、人生观基本上是由诗歌、神话所塑造。荷马的《伊利亚特》描述了历代相传的众多神祇各凭本身喜好直接干涉、影响、改变人类行为和事件的发展，而对此无论凡人或者英雄都无能为力，只能接受命运安排。稍后赫西奥德的《神统纪》所述说的仍然是人格化的神祇，但在内容上开始作出新尝试，即以神祇为宇宙现象的化身，并且以人世代繁衍的方式来追溯他们的形成过程：例如太初有混沌（Chaos）和大地（Gaia）；混沌生出黑夜和埃里伯斯（Erebus），黑夜与它相混合而生白日和以太（Aether）；大地生穹天（Ouranos），又与之相交而生群山、海洋（Okeanos）、第一代巨人泰坦（Titan），等等。这是从神祇转向自然，同时以自然来将神祇理性化的过渡观念。它已经显现出重视自然，并且对其存在尝试作解释的特征。

在上述背景下，泰勒斯抛开以神祇（gods）的衍生及其意志和作为来解释自然现象，转而直接从自然本身寻求和论述它众多现象背后的原理（principle），并且提出此原理就是水。这是崭新的、革命性的观念。这里所谓"原理"或者"原则"，即是稍后他的弟子阿那克西曼德称之为"原质"（*arche*）者。这种说法当时没有文献留存，它最早的记载见之于两个世纪之后的亚里士多德："早期哲学家大多认为，物质（matter）本性的原理就是

---

① 有关泰勒斯在数学和天文学发现的讨论，见 Heath 1965，i，pp. 130－138；Guthrie 1962，pp. 52－54。

万物（all things）的原理；亦即万物之所包含，它们最初之所由来，以及它们最后之所归化（物质留存但状态则改变）——他们说这就是事物的元素（element）和原理，所以他们认为无所谓生灭，因为这种实体（entity）总是守恒的……这派哲学家的创始者泰勒斯说，此原理就是水（因此宣称大地是支撑于水上），这种观念也许是因万物都从湿气得到滋养而来"①。所以，这个所谓原理其实有两重含意：即世上万物的来源、本原；以及这共同来源之所以能够造成万象的理由。泰勒斯以水为此原理并不令人觉得突兀，可以说是根据东方和希腊本身传统而来，因为埃及有所谓"原水"奴恩（*Nun*），土地和创造神都是从之而出；在巴比伦的《创世记》中原始混沌就是甘水（*Apsu*）、海水（*Ti'amat*）和云雾（*Mummu*）三种水的混合；希伯来的《创世记》劈头就说其始只有空虚混沌，神灵运行于水面，然后将水分开而有空气、天地，等等；甚至荷马也提到女神赫拉（Hera）自己说去了大地尽头，那就是"海洋，诸神最先之所自出"②。

所以以水为宇宙原理乃是传统的继承，这很自然而并不特别重要——风、火、原子乃至抽象的"无限"、"数"，后来都曾经被认定为是相类似的原理，不过被改称为"原质"。重要的是"原质"这一观念：它以某些特定自然界事物来作为解释自然万象的基础，而这似乎是从原始宗教转向理性思维的关键，也就是希腊哲学和科学的开端。在泰勒斯之后一个多世纪，原质的探求、讨论成为哲学的中心（虽然并非唯一）论题，而在此阶段哲学即是科学。假如古希腊科学在其源头有个革命性变化，那么泰勒斯所提出的"原理"或"原质"观念，就标志了这个变化的最初阶段。这变化和日后西方科学观念中的"化约主义"（reductionism）是相通的：寻求原质，即间接认定世上万物在最初具有共同和单一（或许是极少数）构成元素和原理，而它们是可以用智力来发现和认识的。

不过，我们也不能忘记，就希腊哲学而言，这仍然是个朦胧的创始阶段，在其时原质观念只是趋向于理性和自然，而并没有完全脱离传统宗教

---

① 见 *Metaphysics* 983b6 -25，作者根据 Barnes 编译本即 Aristotle 1995 翻译，本书以下征引同。
② *Iliad* 14.201.

影响。因此泰勒斯又说“万物都充满神”①。其所指就是：如水或者火那样的事物不可能凭借自身而产生我们所见的变动、变化，所以在这些变动、变化的背后，必然到处都有神灵的鼓动——在希腊传统宗教的观念中，神祇和人的一个基本分别是神祇不死，因此神祇的鼓动可以恒久不息。这种意识一直延续到柏拉图：他认为天体的运动是由其灵魂操纵的，这灵魂就是其神祇②。他的弟子亚里士多德才采取了全然理性的观念，认为神祇并不直接干预自然界运行。换而言之，抛弃神祇的理性化革命（假如我们可以用这粗糙的说法来形容它）是相当漫长的——将之与现代科学革命相比，泰勒斯倘若可以比之于哥白尼，那么古代牛顿的出现，还在遥远的未来。

（3）东方渊源

最后，我们要再次强调，泰勒斯的才智虽然无可置疑，他的思想和发现却非凭空出现。历史上爱奥尼亚和东方的密切关系，我们在前文已经讨论过。在像希罗多德和第欧根尼的古代记载中，泰勒斯本人与东方也同样有密切关系：他的祖上是巴勒斯坦海岸泰尔（Tyre）地方人或者腓尼基人，他自己曾经在埃及长期和广泛游历，因此承受了他们的几何测量知识，而他之能够测定冬至、夏至以及推断日蚀，很可能是得之于巴比伦的天文知识。诚然，凡此种种说法，都曾经受质疑，然而在时代与他相当接近的希腊人眼中，他的知识、学问是有东方根源的，最少是得到东方远古文明累积之启发和刺激的。这传统说法不应该轻率予以否定，特别是所谓根源、启发、刺激，并不等同于说泰勒斯的学问就是由他本人直接得之于埃及或者巴比伦（虽然那也不应该完全排除），因为它很可能是通过在爱奥尼亚居住、访问、游历的东方智者或学者而传播、传授的。

其实，泰勒斯的数学、天文知识原来得之于东方并不希奇，甚至他自己在这些知识的基础上有多少新创建、新发明也还不甚清楚而有争议。真

---

① 根据亚里士多德的转述，见 *On the Soul* 411a7；其他“前苏”哲学家如赫拉克利特也说过类似的话。

② *Laws* 899.

正突出而值得注意的，倒是他能够令一般希腊人重视乃至倾慕这些知识，视之为宝贵、神奇（他有宰杀一条牛以庆祝发现某几何定理的故事，当然，毕达哥拉斯也有相同故事）——也就是把对于自然的认识从狭隘的技术、工艺规律提升到文化层面，使它成为代表基本价值的追求，由是鼓动、激励其他聪明才智之士跟随他的踪迹，建立希腊文明中最重要的一个大传统。这显然不能单纯归之于泰勒斯的睿智、眼光，而更和希腊社会本身的结构、特征有关系。

自然哲学创始者

泰勒斯是传奇人物，但他本人没有著作，也没有留下片言只字；他的事迹、成就都是根据后人，特别是亚里士多德和第欧根尼的传说和转述。因此他虽然被公认为希腊自然哲学的开山祖师，其学说却无从细考。首先提出一套具体宇宙学说，从而创立米利都学派，为“自然哲学”开先河的，是继承泰勒斯的阿那克西曼德（Anaximander，约公元前611—前546）。他是米利都本地人，年龄与泰勒斯相近，关系在师友之间，可以视为泰勒斯的传人。据说他是第一位以散文著书立说的希腊人，所作名为《论自然》（*On Nature*）——这其实是个通名，因为后来许多“前苏格拉底”哲学家著作（最著名的，如柏拉图所购买的毕派主要传人费罗莱斯的著作）几乎都冠以此名。不过此书仅仅留下简短残片，他的学说主要还是通过亚里士多德、其弟子特奥弗拉斯特（Theophrastus，见§4.7）以及罗马时代的注释家，特别是辛普里修斯（Simplicius，见§7.8）而得以流传①。

阿那克西曼德被认为是希腊宇宙学说的真正创始人，是“公元前6世纪思想的中心人物”，他的系统“对我们来说，不啻代表以理性观察自然世界的开端，最少在西方是如此。这个新观点以火山般的力量爆发，由是

---

① 卡恩著有论阿那克西曼德的专书，即 Kahn 1960。此书 pp. 11 – 24 专门讨论有关文献的流传状况，pp. 25 – 71 则是文献原文及评论。此外 Freeman 1959，pp. 55 – 64 以及 Guthrie 1962，pp. 72 – 115 也都有对于阿那克西曼德的详细论述；至于 Freeman 1962，p. 19 则有他部分文献的译文。

所产生的思潮转瞬就从米利都泛滥于整个希腊语世界”。这主要是因为他对于天体、天象和大地构造都提出了具体构想，显示了丰富的想象力和推理精神①。例如，他认为，冷热的分离使得大地以外有弥漫的水气围绕，这水气包裹和分隔了在其外旋转的数个不同大小的猛烈火圈。我们能够从分隔层的孔隙窥见这个火圈，那就是日月星辰，当孔隙被遮挡的时候就会有日蚀、月蚀。至于大地本身则是有如石鼓的圆柱状石块，直径三倍于高度，人类所处是其中一个平面。最令人惊奇的是，他认为大地自然地悬浮空中，没有任何支撑但也不会移动。为什么呢？根据亚里士多德的转述，因为它“不偏不倚，位置居中，与边极等距，（因此）向任何一方——无论上下或者旁边——移动都不适当；它既然不能同时向相反方向移动，那就必须静止”②。显然，这是很深刻的思想，比之泰勒斯之跟随传统，认为大地是支撑在水上进步得多。相传他还发明了立杆日晷（gnomon sundial，我国古代也有类似仪器即“周髀”）。在宇宙整体结构以外，他对于地上现象也有论述。例如，他认为人和其他动物都是由湿润之气而生，但人的哺育期特长，因此原来必然类似于其他生物，否则就不可能生存；至于其所类似的生物，则是鱼。他又讨论大气现象，认为风是空气中干爽部分的流动，雨是空气中湿润微粒积聚沉降，这些湿润微粒是水汽蒸发与地分离形成，而日的作用则是所有这些现象的基本成因。显然，这些看法都颇有根据，甚至相当接近现代科学观念，是仔细观察、思考所得。

除此之外，阿那克西曼德对于现象背后的底蕴也有深刻思考，结果是他认为“原质”并非普通的具体物质：“无穷（*apeiron*）是现存事物的原质；而且，现存事物所得以存在的源头，也就是它们不得不毁灭的时候所回归之处；因为它们要根据时序为彼此的不衡平（injustice）作补偿，从而回复衡平（justice）。”③ 他的“无穷”所指到底是什么，曾经引起许多讨论。一般认为这并非无限的空间或者质量（因为那个时代不可能有

---

① Kahn 1960, pp. 6 - 7.

② Aristotle, *On the Heavens* 295b10.

③ 这是阿那克西曼德所留下来的绝无仅有的完整话语，但意思不很清楚，对此哲学史家有大量考证和猜测。见 *Anaximander Fr. 1*, Freeman 1962。此为作者译文，以下征引同。

如此精确的概念)，而只是环回，没有起点或者终点，也不能确定其形状或者性质的一团原始物质。至于他所谓“不衡平”，可能是指这团原质必须经过“分离”(separating off)，也就是其中冷热、轻重、干湿等性质相反的物质成分由于原质的回旋而分离开来，然后才会有陆地、海洋、天体的形成，这分离就导致了事物性质的不衡平；反过来说，事物毁坏和复归于混同，就会恢复衡平。卡恩从这段话中“根据时序”(“according to the arrangement of Time”)一语，认为所谓“现存事物”之从“不衡平”恢复“衡平”，是指自然现象的周期性变化，例如按日夜、四季、周年的变化，并且认为这种周期性规律的认识，就是西方哲学与科学的起点①。

米利都学派的影响

米利都学派的祖师是泰勒斯，创立者是阿那克西曼德，第三代传人则是后者的弟子阿那克西米尼(Anaximenes，活跃于公元前546年)②。他把阿那克西曼德的“无穷”原质确定为“气”，认为它是在不断运动中：它的膨胀和稀化(rarefaction)产生火，火的凝聚产生水，进一步的凝聚则产生土和石——这显然就是日后地、水、火、气四元素说的雏形。他甚至认为人的心思乃至整个宇宙都是由气所主宰：“正如我们的灵魂，亦即气，将我们聚拢，同样气息与大气也环绕整个宇宙。”③他又猜测大地是犹如叶子的薄平片，它之不会移动是因为它“像盖子一样罩住下面的空气”，为此他还提供证据，说空气受到压缩又不能逃逸的时候，可以承受很大压力④；同样，日和其他天体也是承受在大气之上的薄片。他的猜测比起阿那克西曼德，似乎显得有点倒退，然而他对于压缩空气承重能力的观察，仍然是令人佩服的。米利都学派本身在阿那克西米尼之后就走向结束，但它的影响与重智精神却通过几位关键人物

---

① Kahn 1960，pp. 166-196专门讨论这段话，其结论见p. 191。
② 阿那克西米尼的详细论述，见Guthrie 1962，pp. 115-140。
③ Anaximenes Fr. 2，Freeman 1962.
④ Aristotle，*On the Heavens* 294b15-23.

而散播到爱奥尼亚各城，乃至希腊其他海外殖民地，由是成为希腊自然哲学运动的源头。

四、爱奥尼亚哲人

泰勒斯的学说具有两个不同方面：在数学、天文学方面的探究；以及关于宇宙起源和生化过程的猜想，也就是“原质”的讨论。当然，两者之间并无楚河汉界，因为后者往往也涉及科学观察和假设，乃至某些错误观念的排除。粗略地说，前者是探究如何在量化事物的基础上求进步，这是毕达哥拉斯及其教派的途径，它导致了不少荒谬可笑的错误，然而也激发了惊人的飞跃与进步，这将在柏拉图学园中初次结出果实；至于后者，则可以称为世界构造的探索，这是困难而漫长，满布陷阱、盘陀路和死胡同的旅程，它耗费了其他“前苏格拉底”哲学家百余年的心力。他们虽然缺乏系统研究方法，却仍然在天文、地质、气象等各方面取得了令人惊诧的进展，甚至在物质构造这么困难的问题上也凭藉猜想、推论而获得与近代科学惊人相似的结果，即原子论。在本章余下篇幅，我们将集中讨论这方面的发展，而将毕氏学派的工作留待下一章。

波斯帝国的冲击

作为七贤之首，同时也是具有超乎常人能力与智慧的近乎神话人物，泰勒斯声望之崇高一时无两。他不但在米利都受到敬仰，并且对于整个爱奥尼亚也产生莫大示范作用，而继承他的阿那克西曼德也在宇宙和自然现象的探讨上有更进一步的创获。因此，爱奥尼亚其他城市的聪明才智之士也激发了在思辨和学问上（当时哲学这一名称还未曾出现）另树旗帜，以求驰誉当世的雄心。他们最突出的有三位，即是与阿那克西米尼属于相同世代的毕达哥拉斯和色诺芬，以及稍后的赫拉克利特。希腊哲学得以发展成为波澜壮阔的思想潮流，他们登高望远的呼召，以及承先启后之功实不可没。这三位哲人之中毕达哥拉斯最为突出：他不但立言，更且立功、立德，对于整个西方学术传统有难以估量的深远影响，这我们留待下一章

论述，在此则先行讨论其他两位。

波斯帝国取代亚述帝国是在公元前7世纪之初，但势力达到爱琴海则在百余年后。到了公元前546年，新近统一伊朗高原上波斯族和米堤亚族的居鲁士大帝终于征服小亚细亚西部的吕底亚（Lydia）王国，生擒曾经不可一世的克鲁伊斯（Croesus）王，这样爱奥尼亚海岸的希腊诸邦也连带沦陷于异族，被迫在波斯治下生活——不过，居鲁士基本上还是相当仁慈宽大的。然而，提奥斯（Teos）地方的居民却不服气，选择举城迁居，在北部色雷斯和马其顿海岸交界处另外建立名为阿布德拉（Abdera）的新殖民城邦，那百年之后将成为自然哲学最后的一个重要据点。

浪迹天涯的色诺芬

上述时代变动对于出生于科洛丰，年方弱冠的色诺芬（Xenophanes，约公元前570—前470）无疑是个巨大冲击。他选择流亡到西西里岛，自此飘泊无定，以迄稀有的百龄高寿而终。他不但是一位诗人，有情境交融的作品传世，也是不随流俗的社会评论家，对当时的奢华风尚以及竞技者所受到的狂热吹捧都严词抨击；此外，对于宗教，他也有独立和重要见解，认为希腊传统宗教中高度人格化（anthropomorphic）的诸神委实幼稚可笑，因此："在诸神和众人之中有一位至大之神，他的体形和心智都迥异于凡人。""他无所不见，无所不思，无所不闻。""他不须操劳，但凭心意便可令万物运转。""他固定不动，不时改变位置于他不合适。"① 这无疑是更为高明和理性的一神观，而根据传世文献，他其实是个泛神论者，认为独一之神与整个宇宙相合，而且是全知、永恒、不生不灭者。

最后这一点影响了他的自然观：宇宙既没有生灭，就不需要有"原

---

① Xenophanes Fr. 23 - 26，Freeman 1962。这些片段可以有其他不同翻译和解释，例如"一位至大之神"可以解释为"神是独一，他在……间为至大"，万物之"运转"可以解释为"颤抖"，等等，见 Guthrie 1962，pp. 373 - 375。

质”，我们也不需要解释日月大地的生成。然而他对于自然现象还是有很敏锐的观察，例如，他认为我们熟悉的大地只是地与大气接触的表面，其下深厚至于无穷；日照给予大地温暖；一切都从大地而生（但必须有水才能生长），最后亦将回归大地；大海是风、云、雨、水以及河流的源头，等等①。传世文献还提到他从陆上的海洋生物化石推断，海洋和大地有互为消长的循环；从流经灰烬的水变咸，而推测海水的咸味是由于土地溶解于水。显然，比之于爱奥尼亚学派，他的自然哲学较为平实，它缺乏宏大和根本的宇宙性猜测，而更接近现代科学的仔细观察和局部推论。也许，他的重要性毋宁在于提出了崭新的宗教观，特别是永恒不动，无处不在，与宇宙合而为一的神之观念：它此下启发了南意大利的爱利亚学派，相传开山祖师巴门尼德就是他的学生。

昂首天外的孤独哲人

赫拉克利特（Heraclitus，约公元前540—前480）是以弗所贵族，但由于思想远远超出常人理解，性格又极其高傲，不唯鄙视世人，也看不起成名前辈如毕达哥拉斯，乃至攻击如荷马那样广受尊崇的古代诗人。他甚至对于城邦执政、掌权者也不稍假辞色，拒绝来往，而宁愿移居城外与儿童嬉戏，坷坎以终。他流传至今的只有130余则语录残片，它们大多晦涩难解而富于争议。这一方面因为其思想还没有适当词汇和语句结构表达，另一方面则因为他认为“大自然爱隐藏”，根本不屑于解释，而喜好简短的、特尔斐神谕（Delphic oracles）式的隐喻②。

这位孤独哲人所追求的，是通过观念分析来了解事物表象背后的深层关系，而并非知识的发现或累积，因此其学说近哲学远过于科学。他以火为宇宙原质：“宇宙……是永恒的火”；“这是个变换：万物成火，火成万物，正如货物换金，金换货物”。但他最重要的发明是辩证思维模式，这表现为三个不同层次。第一，是著名的流变说，即“两次踏足于同一河

① Xenophanes Fr. 27 – 31，Freeman 1962.

② 关于赫拉克利特，见 Guthrie 1962，Ch. 5，及以下专著：Kahn 1979。

流是不可能的”，亦即柏拉图所说：“赫拉克利特说所有事物都在变化，没有停顿下来的。”① 不但河流，即使表面上稳定恒久的事物亦然：人和一切生物都有呼吸、饮食、排泄，生长、衰老、死亡；岩石仍然有风化、侵蚀、崩解等等不受注意，乃至不可觉察的细微变化，所以事物流变是没有例外的。第二，所有事物都包括对立成分，故此其构成必然依靠内部张力：“和谐由对抗力量造成，正如弓和琴”；战争是常态，公义、和谐并无固定意义：“神是日夜，冬夏，战争—和平，饱足—饥馑”；“战争是一切的主宰和父亲”。最后，描述和价值判断是相对的，因此可以统一：“上与下为一，为相同”；“海水最清亦最浊：它对鱼是可饮和得以维生，对人是不可饮和有害”；“神即凡人，凡人即神：此生即彼死，生即有死”，等等②。

显然，赫拉克利特是个以观念分析为能事，接近于现代意义的纯粹哲学家，而并非像其他爱奥尼亚哲人那样的自然哲学家。他最重要的贡献可能是以其锋利、无可抗拒的流变说摧毁了希腊哲人对事物的表面、肤浅认识，由是激发了爱利亚学派的“存有”（Being）哲学，并且直接影响柏拉图走向“理念”（Idea），即恒久不变世界的探索。

五、从大希腊到雅典

古代希腊人不断往海外开拓殖民地：假如把希腊本土看作这国度的身躯，爱奥尼亚为其右翼，那么从公元前8世纪开始不断蓬勃发展的南意大利，即所谓“大希腊”和西西里岛就是它的左翼了。所有这些区域之间的海上交通都很频繁，所以像毕达哥拉斯和色诺芬那样的爱奥尼亚哲学家，在遭遇困难的时候往西移民到大希腊去是很自然的选择。当然，他们同时也就把哲学带到西方去了。因此古代学者习惯于把希腊早期哲学分为

---

① Plato，*Cratylus* 402A；这句名言广为古代学者征引，但他的残片中只有下列相关说法（Heraclitus Fr. 49a 及 12，Freeman 1962）：“我们踏入而又不踏入同一河流”；“踏足于同一河流的人不断被不同的水流过”。

② 以上征引依次见 Heraclitus Fr. 123，30，90，91，51，67，53，60－62，Freeman 1962。

爱奥尼亚和意大利两支，后者又可以分为公元前6世纪后半叶的毕达哥拉斯学派和公元前5世纪前半叶的爱利亚学派，以及个别的自然哲学家如色诺芬和恩培多克勒。除此之外，属于公元前5世纪后半叶的，还有以色雷斯为根据地的原子论学派，以及活跃于雅典的所谓“智者”(Sophist)。

爱利亚学派的挑战

倘若赫拉克利特是对于自然哲学的反动，那么巴门尼德（Parmenides，约公元前515—前440）便是对于赫拉克利特和自然哲学两者的反动，而且反得更为激烈和彻底。他是南意大利希腊新建殖民地爱利亚（Elea，建于公元前540年）地方人，曾经参加毕达哥拉斯教派，又曾经师从移居西方的色诺芬。因此他更可以说是公元前5世纪西方本土哲人对于上一世纪爱奥尼亚哲学的反动。

巴门尼德有文学才华，他以荷马六步韵形式写下哲思，并且郑重宣称，这是他乘坐女神所驾马车进入天庭后所听闻的启示。很幸运，这部书有154行得以留存至今①。他划时代的贡献是截然区分确定不移的“真理”和因时因人而异的“意见”，后者可以凭猜测推想得来，前者则只有通过相当于严格逻辑推理的方法才能达到。在他而言，这方法的运用就是从“存有”（Being）的观念出发，证明“虚无”（Nothingness）绝对不能存在，因为“虚无”和“存在”这两个观念是对立的、矛盾的。由此他进一步证明“存有”必然具有下列特性：它是永恒而没有生灭变化的；恒定不动的；连续不可分割的；独一无二的；以及在各方面都同样地完整自足（complete and not lacking）而达到其限度（limit）的②。至于证明过程，则基本上是以变化、运动、分割等观念都离不开“虚无”这一点为基础，细节在此就没有必要讨论了。不能忽视的是：他的证明方式也就是逻辑和辩证法的萌芽。

很显然，这样的“存有”和现实世界并没有任何关联——这一点巴

---

① Parmenides Fr., Freeman 1962.

② 最后这属性是个空间观念，所以在此意义上“存有”可以视为球体。

门尼德也承认，但他坚持：我们凭感觉所认识的所谓现实世界是变动和虚幻的，而真实世界则必然是恒久不变的，它只能够凭我们的心智（nous）也就是后来所谓“理性”来认识。这样，西方传统中最基本的二元论，即是感觉和心智之间，实体（corporeal）世界和抽象（incorporeal）世界之间，还有变化和恒久之间等等的截然对立，就都出现了。

巴门尼德的爱徒芝诺（Zeno，约公元前490—前430）也是爱利亚人，他的著作《诘难》（*Attacks*）原文留存至今的不多，但在后世文献中颇多征引。而且他的诘难法为亚里士多德所重视，正式称之为“辩证法”（Dialectics），同时在《论题篇》（*Topics*）中详加讨论。柏拉图更在《巴门尼德篇》中记录了大约公元前450年巴门尼德和芝诺到雅典参加雅典娜大节（Panathenaea）时和苏格拉底见面的情况，特别提到芝诺自称他写文章的目的就是为乃师哲学作辩护，而其方法是藉推理指出“敌对意见”的内在矛盾。这些敌对意见包括“众多”（plurality）的存在，运动之可能，“地点”之意义，累积微小事物或效应（例如一粒芥子落地之声）成一定量之可能，等等。其中最有名的论题，无疑是证明运动不可能，即阿喀琉斯不能追及乌龟，和飞矢不动的例子。如所周知，证明的方法基本上是指出运动必须在时间和空间连续体（continuum）中进行，但连续体不可能以有限分割穷尽。因此，在缺乏无穷（infinite）和极限（limit）观念的情况下，将运动过程加以逐步分析，便会发觉它必然牵涉无限多步骤，因而无法完成。

巴门尼德师徒和赫拉克利特一样，其贡献都是在于刺激和深化希腊哲学，以及促成柏拉图理念（Idea or Form）说的出现——这在《巴门尼德篇》已经有其雏形了，虽然在历史上那可能并不真实（因为年代不符），只不过是柏拉图放在他老师口中的说法而已。巴门尼德和科学发展的关系好像不大，不过有一种可能性却很值得注意：虽然相传泰勒斯和毕达哥拉斯都已经开始有几何证明的观念，但其步骤、方法并无任何记载，所以学者大多表示怀疑；由于爱利亚学派的立论和严格论证方法对于毕达哥拉斯学派是个严重挑战，而且他们似乎更曾经直接攻击后者，因此毕达哥拉斯派当会深感威胁。在此情况下，后期的毕达哥拉斯派学者，

如活跃于公元前430年的数学家希波克拉底（Hippocrates）或者与柏拉图同时的阿基塔斯（Archytas）之开始作严格的数学论证，也就是数学开始走向公理化，很可能是因为受到了爱利亚学派的挑战与刺激所致。这是个重要关键，其可能性是不容忽视的。

反动的反动：从一元到多元

爱利亚学派像是爱奥尼亚自然哲学的反动，但他们和赫拉克利特都没有放弃自然哲学的一个中心论旨，即宇宙万象背后有个单一的真实，无论这真实是生化万象的原质，抑或是永恒不动、不生不灭的“存有”。然而，从公元前5世纪开始，这个观念就逐渐被放弃，而为多元论所取代。

首先朝这方向迈进的是和芝诺同时的恩培多克勒（Empedocles，约公元前492—前432）。他与巴门尼德有不少相似之处：他是西西里岛阿格里城（Agrigentum，古名Acragas）人，出身望族，在本城颇有势力，相传曾经是毕达哥拉斯派信徒，同时私淑（或者师从）色诺芬和巴门尼德，著作也同样用六步韵诗歌形式。他又是著名医生，相传有起死回生之能，又受盛行于南意大利的奥菲士（Orpheus）教派影响，曾经以先知和宣道师的姿态向阿格里全城宣示其《洁净仪式》之诗，这比之巴门尼德那样讲求严格推理的学者，显然是姿采丰富多了。

在自然哲学方面，他接受巴门尼德的物质没有生灭，充斥宇宙，而虚空并不存在之说，但却否认物质是纯一和寂然不动的。他认为“这些（元素）的连续交换从不止息，（它们）有时在‘爱’的影响下聚合，因此众多变为单一；另一时在‘憎’的敌对力量下分散开来”，这些元素就是“火和水和土和无限高的气”，它们是“在各个方向都分量相同的”。这虽然粗糙，却初次把建构宇宙的质料，即火、水、地、气四种元素和宇宙生化的原理，即爱和憎，分别开来。除此之外，他还详细考虑了宇宙和各种天体、动植物最先生成和其后变化的过程，更对于种种自然现象作出仔细观察和解释。例如，他指出水中密封器皿里的压缩空气会挡住水，但放开器皿的气孔，空气则会逃逸而水可进入，并且认为许多生物就是以此

原理而凭皮下血管来呼吸的。

但他最重要和划时代的贡献，则在于发现日蚀和日夜成因，也可能注意到了月光的成因以及地热现象："每当月走到日下面时，就阻断（cut off）它的光芒，在地上投射和明月一样宽的影子"；"[日的] 光芒撞到月的宽广表面 [，就立刻返回到空中]"；"地走进了日的光芒 [从而] 造成黑夜"，"在 [地的] 表面之下有许多火在燃烧"，等等①。这是个决定性的开端：从此自然哲学就不再仅仅是数学和对于自然现象的猜测（无论是原则性或者具体事物的猜测），而开始有从具体观察和推理得到的结论，这些结论就是萌芽中的天文学之基础。

雅典第一位哲学家

到了公元前5世纪，波斯的冲击继续影响希腊哲学。在居鲁士之后，波斯的西进野心并没有收敛，但雅典的态度也强硬起来：在公元前499—前498年间，它派遣舰队支持爱奥尼亚诸邦反叛波斯，从而引来大流士大帝（Darius I，公元前522—前486）反击，他在公元前494—前493年间摧毁了诸邦首领米利都，恢复统治爱奥尼亚，并且挥军雅典，但在著名的公元前490年马拉松（Marathon）之役失败而归。10年后，他的长子薛西斯（Xerxes，公元前486—前465）卷土重来，发动对希腊的全面进攻。然而，在萨拉米（Salamis）的决定性海战中，雅典舰队以寡敌众获胜，居然扭转危急形势，奠定了希腊联军的至终胜利。从西方观点看，这无疑是决定其文明存亡的背水之战，其惊险正可谓千钧一发。

在当时，很可能有一位年方弱冠的爱奥尼亚青年被迫随波斯大军来到雅典，后来就逗留下来，成为也许是雅典第一位哲学家，这就是来自克拉佐门尼（Clazomenae）的阿那克萨戈拉（Anaxagoras，约公元前500—前428）。他出身富家，但醉心天文，对于财富、政治没有兴趣，来到雅典之后潜心研究哲学，声望日隆。相传大政治家伯里克利（Pericles）和戏剧家尤里庇底斯（Euripides）都是他的学生，前者和他特别亲近。他的另一

---

① 以上两段中的引文，分别见 Empedocles Fr. 17，42，43，48，52，Freeman 1962。

位学生阿基劳斯（Archelaus，活跃于公元前450）本人并不那么有名，却有一位大名鼎鼎的学生苏格拉底。阿那克萨戈拉在雅典居住了三十年（约公元前480—前450），然后，很典型的，由于政治原因而被迫流亡，表面罪名可能是对神不敬，也可能是附敌，最后在小亚细亚的林帕萨卡斯（Lampsacus）终老。

阿那克萨戈拉是一位兴趣广泛和富有原创性的自然哲学家，他最重要的贡献有三方面。首先，他对于月光和月蚀的成因作出了肯定和正确的解释；此外，他对于大量自然现象的观察和猜测也非常有意思。例如，他认为太阳是一块比伯罗奔尼撒（Peloponnese）大许多倍的“灼热石头”；星星是满布于大地之上的半球状天体，后者的旋转轴本来是垂直而非倾斜的；星光所以不热，是因为它们距离很远，而且处于寒冷区域；银河是由星的光芒造成；大地是承托在气体上，并且有许多透孔的一块圆板，当透孔为雨水闭塞而大气在下面冲击的时候，就会发生地震；雷电旋风都是由天穹高处的火焰下冲，与下面的冷空气撞击而形成，等等。

其次，在宇宙学上他比恩培多克勒更进一步，提出了更为彻底的多元论，即宇宙间有无数不同种类、大小、性质，而且不生不灭的元素，它们本来完全混合在一起，其后由于宇宙性的大旋转而分别开来成为个体，其个别性和属性就是由所含各类元素的比例而决定。这一理论在细节上颇多费解和含混之处，但它最少是在能够面对爱利亚学派攻击的前提下，为宇宙万象找到了一种可能的（虽然在今日看来很奇特的）解释，这样也就为日后德谟克利特的原子论奠定了基础。

最后，阿那克萨戈拉还正式提出了和物质元素全然不同的，也就是非物质性的“心智”，以作为宇宙一切事物的主宰。他再三强调，“心智”是绝对不会和物质元素混合的，它的作用在宇宙之初是“发动”大旋转以生化天地万物，在生化过程完成之后，则是作为一切生物，特别是人的主宰，也就是灵魂。因此他的“心智”有两个特点：它与物质是截然划分的；它又同时具有神，即创世主以及个人灵魂的位置。这样，西方哲学的心物二元论就正式出现，并且迅即通过苏格拉底和柏拉图而成为大传统的核心部分了。

六、自然哲学的成熟

到公元前5世纪下半叶，已经酝酿超过一个世纪的自然哲学终于成熟，并且达到第一个高峰，这就是大家所熟悉的原子论。从今日看来，它与现代科学所发现的物质构成图像是颇为接近的。如所周知，原子论和德谟克利特（Democritus，约公元前460—前360）的名字分不开，但其实他并非原子论的始祖，那是他的老师留基伯（Leucippus，活跃于公元前430年），芝诺的弟子，而且也是毕达哥拉斯教派中人，所以同样是承受自然哲学大传统者。

回顾这个大传统的宇宙论，我们就会发现，如何解释世界上的“众多”和“运动”是这个传统的主要问题。在米利都学派时代，探讨焦点在于原质为何，这两个问题还不突出，其解答只是凭猜测而已。爱利亚学派对于这些猜测来了一记当头棒喝，以严谨的推论证明真正存有者只能是单一，而且是充满空间和恒寂不动的——也就是根本不能够解释我们所知世界的。这产生了一连串后果：首先，是引出了恩培多克勒和阿那克萨戈拉的多元论。他们以原质的多元而并非单一来解释众多，以多元物质的位置对换来解释运动，这样算是在巴门尼德的严厉眼光之下初步回到现实世界。然而他们的解释并不完全令人满意：阿那克萨戈拉的“无限多元”等于取消“众多”问题的本身，只不过是把宏观世界的问题推到未知的微观世界去；至于以“爱憎”或者“心智”来解释运动，则显然有太多随意性，从自然哲学的观点看来，也不能视为确切解释。这样，最终就有原子论派出现，把多元论更推进一步，为上述问题作出更完满的、纯粹属于自然哲学的解释。

两个崭新观念

留基伯的事迹隐晦不彰：他的名声被更有文采和才华的弟子盖过，他的两部著作《宏观世界秩序》（*The Great World Order*）和《论心智》（*On Mind*）几乎完全没有留存：后者只剩下一段可以说是理性

宣言的残片："没有事情会随机发生；每一件事情的发生都有理由，都是必然的。"① 然而，根据亚里士多德的记载，原子论的基本要素其实可能是由他提出来，虽然要严格区分他和德谟克利特的贡献，现在已经不可能了②。

他们师徒二人最重要、最基本的贡献是提出了"大虚空"（Great Void）和"原子"（Atom）这两个观念。所谓大虚空也者，用现代语言来说就是"真空"（vacuum），亦即"空间"（space）。它之所以那么重要，是因为古代希腊本来只有物质的观念，而没有我们今日那么熟悉的，作为一切物质存有背景的空间观念。这从泰勒斯开始，一直到巴门尼德，乃至恩培多克勒和阿那克萨戈拉都是如此：对于他们来说，宇宙总是充斥着连绵无缝隙的物质。在此情况下，这物质无处不相互挤压，其运动就只能是不同部分的位置对换，但何以会有这种对换，仍然难以解释。虚空解决了这个困难，因为这样一来，物质不再挤压在一起，而可以是分散的，运动只不过是个别物质块粒位置的变换而已。甚至，运动也不再需要特殊原因：很容易想象，所有不同物质块粒都是在无休止的运动之中，而且彼此碰撞之后会反弹而继续运动。事实上，这相当接近于现代物理学的气体分子运动（gas kinetics）图像，那恐怕也正是原子论者心目中的图像。

至于他们心目中的"原子"，和现代科学所发现的分子、原子或者粒子，其实颇为接近，虽然也有基本分别。首先，他们意识到，并且明确提出来，原子非常微小，所以不能为肉眼所见，或者其他官能所感觉。其次，他们认为，原子是基本物质单位，所以无论实际上抑或原则上都不可能再分割，否则就有陷于芝诺悖论的危险，即它们可以无限分割，以至于无穷，亦即成为无确定性的细小颗粒。第三，他们认为世界上可以有无数不同大小、不同形状的原子，但其本质或者构成"质料"都一样，这样

---

① Leucippus Fr. 2，Freeman 1962.

② 下面的综述主要见之于下列亚里士多德文献：Aristotle，*Generation and Corruption* 314a22，325a23，325b27；*Physics* 203a33，252a32；*On Heavens* 275b31；*Metaphysics* 985b4；*Generation of Animals* 742b17。

就在某种意义上仍然回到一元论，而把多元解释为原子的属性，即其大小和形状之不同。而我们所认识的万物之生灭，则可以用不同数量、形状的原子，以不同方式聚合，以及它们的分散来解释。因此万物有生灭，作为其原质，也就是其构成“元素”的原子则永存不灭。他们甚至认为，人和动物的灵魂也是由特殊的球形原子构成，死亡就是由于灵魂原子不再凝聚在身体内，而飞散到空间去。

当然，现代科学中的物质构造比这两千五百年前的第一个原子论要精巧和复杂得多，但两者的基本特征还是颇为相似的：现代世界只需要一百多种而不是无限多种原子，而这些原子的“质料”的确可以说是基本相同——它们都是由电子、质子和中子构成；它们的大小、形状也都的确不同，而在一般情况下，它们的聚散造成了宏观物体的生灭，它们自己则是不灭的。这样，单单凭想象和推理，古希腊自然哲学家可以说已经窥见了微观世界的一角。

另一方面，原子论在当时并不完全为人所接受。例如亚里士多德对它就有保留——他特别不能接受的是：原子论企图用自然的，或曰机械性的原因来解释一切运动。那也就是说，把“目的性”（teleological）因素，亦即是一个更高意志（无论其为神或人的意志）的作用，完全排除于宇宙之外。这样，宇宙所发生的一切，也就成为盲目而没有意义、没有目的的了。从此可以看出，原子论的确贯彻了古代自然哲学的理性追求。然而，它和其后形成的希腊哲学大传统是有距离的，因为不但在柏拉图，就是在亚里士多德那么理性的思想中，一个彻头彻尾的机械性，全然没有主宰的世界，仍然是不可思议、不可想象的。

欢笑哲人德谟克利特

和乃师留基伯一同发现原子论的德谟克利特出生于前文提到过的阿布德拉一个极其富裕的家庭。他是一位生性乐观愉快（所以称为“欢笑哲人”，与赫拉克利特称为“哭泣哲人”相对），又极其聪颖和具有强烈求知欲的人，把所分得的家财悉数用于求学和游历，足迹遍及埃及、腓尼基，甚至传说也到过中东、波斯乃至印度，然后回到本城致力于著述。第

欧根尼为他所作的传记保存了六十余种书目，范围遍及自然哲学、各种自然现象、数学、逻辑、生物、医学、历法、地理、音乐、文学、政治、道德、人生哲学，等等，真可谓洋洋大观，浩如烟海，其博学和多产比之后来的亚里士多德毫不逊色。但很可惜，这些著作原文的绝大部分，包括最重要的《微观世界秩序》（*The Small World Order*），都未能流传下来。而能够流传的三百余残片，也绝少是关于自然哲学的。不幸中之大幸是，在亚里士多德和辛普里修斯（Simplicius）的著作和注释中，保存了大量有关他学说的资料，上文所说的原子论以及下面所提到的科学发现，基本上都是从这些后代著述中得来。其百科全书式的著作不但在规模、方法和雄心上为亚里士多德提供典范，即使在见解和内容上，也同样为亚里士多德集大成的著作在许多方面奠定基础——而正是因为更为成熟和系统化的亚里士多德著作之出现，德谟克利特的著作遭受淘汰。这种情况后来在数学和天文学中还会再发生。

德谟克利特对于数学的确切贡献现在已经不容易追寻了。阿基米德说，德谟克利特发现（而还不是证明）一个圆锥体比之同高同底的圆柱体，和一个金字塔比之同高同底的立方柱，其体积比例都是三分之一。他又曾经探讨过与极限有关的问题，即以平行于圆锥体之底的平面切割此圆锥体时，所得到的上下两个圆截面面积是否相等的问题，这很可能和他认为原子论也同样适用于数学，所以几何图形并非可以无限分割有关。他的著作目录中还包括“《论逻辑》或《论准则》”，但这是指今日所谓逻辑学还是知识论就不容易判断了①。在天文学方面他的讨论很多，但没有突破：他认为地是圆柱而非圆板形状；恒星离地最远，然后依次是各行星、日、金星和月；至于对月光、银河和彗星的解释他都跟从阿那克萨戈拉；后者认为地轴（即天顶方向）和天体的旋转轴（即北极）方向不一致，是由于后者的倾斜，他则相反，认为这是由于地轴自身的倾斜。总而言之，到了德谟克利特的时代，诸多重要天文学问题已经是长期讨论的热点，突破性进展好像为期不远了。

---

① Democritus Fr. 155, 10b, Freeman 1962; Guthrie 1965, pp. 483, 487 - 488。

希腊哲学的新阶段

在德谟克利特之后，希腊哲学就进入另外一个阶段了。公元前5世纪末叶的希腊，无论就政治或者思想而言，都处于紧张斗争和高度混乱时期。在波斯大军压境的第二次危机消除以后，雅典和斯巴达的竞争迅即开展，并且在伯罗奔尼撒战争的三十年间（公元前431—前404）达到炽热，而这正是苏格拉底的鼎盛时期和柏拉图的成长阶段。在他们所承受的哲学传统之中，从泰勒斯以迄德谟克利特的自然哲学无疑是最重要的，但这并非全部。在此之外最少还有两个不同传统是对他们有强大影响的，即毕达哥拉斯学派（the Pythagoreans）和智者（the Sophists）运动。

毕达哥拉斯的神秘教派是宗教和数理科学的奇特融合体，它的历史、理念和影响我们将在下一章讨论。这里要先行稍为提到的，是此派的几位著名数学家，即特奥多鲁斯（Theodorus）、希波克拉底和阿基塔斯，前两者是柏拉图的老师，后者是他的挚友，柏拉图那么重视数学，这几位关键人物是起了重要的影响。至于所谓智者运动，则指一大批以言说、论辩、修辞、演讲见长，并且收费授徒，以此为专业的人物，他们并没有共同或者固定理念，也不承认有任何恒定不移的知识、学问，而只把思辨视为立身处世，乃至在城邦政治中出人头地的工具，因此说“人是判断一切的标准”。这一运动最早起源于普罗泰戈拉（Protagoras，约公元前490—前420），他可能是德谟克利特的学生①；比他稍后而同样著名的有恩培多克勒的学生高尔吉亚（Gorgias，约公元前480—前380），以及和苏格拉底大致同时，而对于数学也颇有研究的希庇亚斯（Hippias）等人物。

对极端重视个人道德和政治生活的苏格拉底（Socrates，公元前469—前399）来说，以上三个传统都是令人不安的：自然哲学和数学都不免分散人对于主要事物即正当城邦政治生活的专注，至于智者运动则更是迷惑

---

① 这点有争论，见汪子嵩等1997－2003，ii，pp. 67－68及Guthrie 1962－1981，iii，pp. 262－269。

人心，摧毁健康社会与城邦建构基础的罪魁祸首。因此，上述人物虽然都在《对话录》中出现，但众多智者却永远是被苏格拉底委婉而坚定地驳斥的对象。在苏格拉底身上，我们可以感觉到像孔孟那样的向往与气质。至于柏拉图本人，则态度要微妙得多，因为他深受毕达哥拉斯学派影响，认为宗教和宇宙探索相通相连，因此在《国家篇》和《法律篇》里面，数学、天文等学科的地位极其崇高，被认为是哲学教育的根本。至于把自然哲学与宗教清楚地分别开来，并且令前者成为思想主流之一，则是再下一代即亚里士多德的事情了。

第三章　永生与宇宙奥秘的追求

古希腊科学的起源有各种不同看法。泰勒斯及其米利都学派往往被视为希腊科学的源头：他在波斯大军入侵吕底亚之际准确地预言将有日蚀，是年（公元前585）也因此被定为希腊哲学起点。然而，泰勒斯虽然以通晓几何与天文学知名，但是他为人称道的几个发现都十分粗浅，他的影响其实主要在于激发思辨性（speculative）的自然哲学之兴起，这虽然与希腊科学非常接近，甚至可以视为孕育后者的母胎，但两者仍然是有分别的。在希腊科学史上真正具有决定性意义的大事，毋宁是公元前530年左右毕达哥拉斯从萨摩斯岛移居意大利南端的克罗顿（Croton）。那是毕氏神秘教派的开端，它结合永生追求与宇宙奥秘探索的教义，日后成为柏拉图哲学及其学园（The Academy）背后的精神力量。在此强大力量鼓动下，以严格证明为特征的希腊数学诞生，它最后成为整个古希腊科学传统的源头。以上只是希腊科学诞生的最粗略轮廓，它的细节和详细论证将在下面两章展开。

一、笼罩科学诞生的迷雾

毕达哥拉斯是个笼罩在迷雾中的传奇人物。他倡导“万物皆数”，这个观念后来发芽、滋长，成为希腊精确科学的种子；他创立强大、严密的教派，它虽然不久就覆灭，但其强烈的精神则通过后代教徒而灌注于柏拉图学园，成为它发展严格数学的动力；最后，他的人格、

事迹、信念更成为西方智慧的象征和泉源，其影响历代相传不衰，一直延续到开普勒和牛顿。不过，这样一位立言、立功、立德的大人物自不免被渲染、夸大和附会以种种怪异神奇事迹，从而披上“通天教主”的外衣，此风一直延续到17世纪方才稍为止息。另一方面，有关毕氏及其学派的原始文献已经全部湮没，他们的作为与贡献只能够从后人的论著间接推断了。在19世纪实证精神开始笼罩史学界，特别是德国兰克学派，缺乏原始文献作为证据的传统历史几乎一概遭到质疑乃至全盘否定，毕达哥拉斯同样不能幸免。他因此被重新定位为近乎巫师类型的教主，甚至被认为与科学并无任何实质关系。到了20世纪，学术风尚再次回转，英美学者的态度转趋缓和，他们虽然对夸张的传统说法继续保持批判态度，但也不再一概抹杀传世文献的价值。因此，在今日，应该是有可能为毕达哥拉斯描绘更为客观与真实面貌了。

文献之不足征

希腊科学大体上可以分为酝酿期（公元前580—前400）、雅典期（公元前400—前300）、亚历山大期（公元前300—公元200），以及衰落期（200—550）等四个阶段。在今日，亚历山大时期的希腊科学还可以比较清楚追溯，因为像欧几里德、阿基米德、阿波隆尼亚斯、托勒密等主要学者的事迹虽然不可细考，但他们都有相当多著作流传，而著作中的前言、引论、评注往往包含重要科学史资料。在此之前的雅典期科学就已经不容易追寻，因为这时期的科学史和科学著作，例如亚里士多德所撰的毕达哥拉斯论述，他弟子尤德姆斯（Eudemus）所撰的数学史和天文学史等等，都已经湮没不存，对于此时期的了解已经不得不依赖当时的哲学著作如柏拉图和亚里士多德的著作，乃至数百年后的罗马时代作品。至于更早的酝酿期，则第一手资料更为稀少，除了若干“前苏格拉底”自然哲学残篇之外，可说是一无所有，学者基本上只能通过雅典期乃至更后期著作的追述来作推断、猜测。

文献之所以如此不足有许多特殊的历史原因。首先，是古代图书

的厄运：亚历山大城学宫大图书馆的70万卷珍本在公元前48年被当时入侵埃及的恺撒大帝所引起的战火焚毁，该城的塞拉皮（Serapeum）神庙又在公元391年为刚刚获得正统地位的基督教徒所夷平，神庙里面保存古代学术传统的图书馆亦遭遇同一命运。这些浩劫与灾难性的秦火相类似，其所造成的损失是无从估计的[①]。另一个原因是，当时的学者历史意识十分薄弱，有关学术发展的记载一直要到亚里士多德才出现。更可惜的是，一本完善的综合性科学论著出现，就往往取代其前所有原创性或者阶段性著作，使得它们大量失传：像欧几里德的《几何原本》和托勒密的《大汇编》就都起了这样的作用。最后，处于西方科学源头的毕达哥拉斯教派属于"密教"性质，即对教外严守秘密，在教内其信仰、发现只凭口耳相传，严禁将之形诸文字；但最不幸，也最令人扼腕长叹的是，可能由于它的诡秘作风，以及其政治上的独占地位，毕氏教派在后期受到反对势力围困火攻，几乎全军覆没，其后虽然仍然相传不绝如缕，但是早期历史、学说、教义、科学发现等资料只能够凭个别教徒的传说，以及后人根据传闻的猜测、追述，再也没有确切文献可以依据了。

另一方面，虽然毕派的原始文献稀缺，但后代影响极大，所以有关论述、记载、传闻极其繁多，而且数量与时俱增，乃至令人望洋兴叹。这些记载最早的见之于柏拉图的《对话录》和书信，但那非常稀少和隐晦，只可以说是其思想的痕迹而已。比较详细和直接的，是亚里士多德对于前代哲学流派包括毕达哥拉斯学派的系统论述，虽然这难免受他个人观点、思想影响，但毕竟保存了大量珍贵史料，成为早期哲学史、科学史最重要的依据。其后，从公元前后以迄5世纪，毕氏学派通过"新毕达哥拉斯学派"以及"新柏拉图学派"的出现而获得"重生"和发扬。在此刺激下，涌现了大量与科学发展以及毕氏教派有关的描述、记载。其中最重要的，

① 许多科学史记载，亚历山大学宫图书馆是642年阿拉伯伊斯兰教徒征服埃及之后焚毁的，但此事其实是六百多年后即13世纪的一种传说，其不可人信，以及该城图书馆早已毁于兵火和宗教斗争的情况，在以下专著有详细考证和说明：Butler 1902，pp. 401–426。此外并见 Canfora 1989。

包括第欧根尼（Diogenes）的《名哲言行录》、波菲利（Porphyry）和艾安布理喀斯（Iamblichus）的毕达哥拉斯传、普洛克鲁斯的《欧几里德〈几何原本〉第一卷述评》，以及辛普里修斯为亚里士多德的《范畴篇》、《论天》、《物理学》、《论灵魂》，以及欧几里德《几何原本》诸书所作的评述①。这些著作保存了大量珍贵资料，例如亚里士多德弟子尤德姆斯（Eudemus of Rhodes，约公元前350—前290）的《数学史》就是因此而得以部分重现。然而，不可避免地，它们同时也颇不乏传闻、臆造成分，甚至掺杂了大量后代神怪附会成分，要从中提纯出可信、可靠部分有赖于细致的疏爬和考证，但争议亦因而在所不免。这是考究毕达哥拉斯及其教派所无法回避的困难。

有关毕氏及其学派的争论

有关毕氏学派的争论主要在于：它与希腊科学和哲学的真正关系如何？正如上文所说，毕派历史虽短，但在后世影响深远浩大，自公元前4世纪的柏拉图学园以迄16世纪文艺复兴时代，它始终或隐或显，笼罩着西方宗教与科学思潮，由是形成学界的普遍观念，认为毕氏学派对于希腊数学和天文学有创始乃至实际建构之功。但这观点主要是建立在后代学者的追述和传闻之上，而他们虽然没有坚实证据，却将毕达哥拉斯推尊为古先圣哲乃至智慧泉源，所以在实证史学兴起之后，这些论述的客观性就受到了强烈质疑乃至全盘否定。

首先发难的，是19世纪德国哲学家和哲学史家切勒（Eduard Zeller），他在其巨著《希腊哲学史》中秉承黑格尔和兰克学派精神，认为毕达哥拉斯及其早期门徒与数学推理和哲学思辨都不相干：他们只不过是个把数字附以神秘色彩的宗教团体而已，其作用被过分渲染、夸大，必须用严格

---

① 以上著作有以下现代译本：Diogenes/Hicks 1965；K. S. Guthrie 1987（即 *Pythagorian Source Book and Library*），此书除了毕氏的三种传记以外，还包含有关毕氏教派的导论以及有关文献的汇编；Proclus/Morrow 1970。至于辛普里修斯为亚氏著作所作大量评述的现代译本也已经从90年代开始陆续出版，见第301页注。

的科学方法予以纠正、厘清[①]。这观点影响了比他稍后的弗兰克（Erich Frank）和迪尔斯（Hermann Diels），特别是迪尔斯编纂的《古希腊文献汇编》，以及迪尔斯和克兰兹（W. Kranz）合编的《前苏格拉底残篇》[②]。同样观点大体上仍然为他们之后的布尔克特（Walter Burkert）所接受：后者在20世纪60年代初出版的巨著《古代毕达哥拉斯学派的传说与科学》中还把毕氏学派和“前苏”自然哲学截然判分，认为：“希腊数学并非出于‘智者’的启示或者一个为此而建立的教派之密室，而是和希腊理性世界观的发展密切相关的”；在遍数几乎所有前苏格拉底哲学家的可能贡献之后，他得出的结论是：“个别毕派学者与此发展不无关系，但就其精义而言，数学是希腊的而非毕氏学派的。”[③]

然而，这激烈的“取消主义”立场是有问题的。毕氏的贡献虽然没有直接和原始证据，但抛开了毕氏，希腊数学和天文学的源头又到哪里去寻找呢？特别是，在他之先的泰勒斯虽然有数学声望和发明，然而这同样是得之于后人的记载，并没有比毕氏更坚实的证据。至于与他在先后之间的阿那克西米尼、赫拉克利特、色诺芬等人，以及其后的众多知名自然哲学家，则大部分连有关数学发明的记载或者传闻也都阙如，只有德谟克利特是例外——他们基本上都是以言辞来对于大自然作猜测、思辨的。我们一旦把毕氏及其学派从数学史的源头剔除出去，他们所留下的空白就不可能填补。因此英美学者从科学史家希斯（Thomas Heath）、希腊哲学史家格思里（W. K. C. Guthrie），以至最近的毕氏学派研究者卡恩（Charles H. Kahn），都还是倾向于接纳相当部分传统记载和解释，认为毕氏及其学派对古代科学和哲学都有重要贡献和巨大影

---

① Eduard Zeller, *Die Philosophie der Griechen in ihrer geschichtlichen Entwicklung*, 3 vol. in 6 pts. Leipzig 1919－1923。此六卷本巨著的观点后来汇集于他本人于1883年所作的《希腊哲学史提纲》即Zeller 1963，该书现代版是由Wilhelm Nestle结合了法兰克在20世纪初的研究结果而加以修订过的，因而显得较为缓和，虽然其基调并未改变。事实上，法兰克本人的观点也是很激进的。

② H. Diels, *Doxographi Greaci*, Berlin 1879；Diels and Kranz 1951－1952。以上第二种著作有英译本即Freeman 1962；为此译者还有相关著作Freeman 1959。

③ Burkert 1972, pp. 426－427；作者译文。

响力①。

将迪尔斯的《汇编》翻译成英文并详加注释的弗里曼（Kathleen Freeman）说，毕氏是“半科学、半宗教的教派创始人；我们对他自己的信仰和教诲几乎一无所知，但那无疑是其门人的精神力量之来源”；又说，他的许多门徒都积极将几何原则应用于天文和宇宙构造，“很难相信他们所遵循的指导性原则不也同样就是他（毕氏）的”②；剑桥大学的格思里在1962年出版的《希腊哲学史》第一卷指出：毕氏“在生前和身后多个世纪都同时以宗教导师和科学天才的地位受追随者尊崇，也为其他人猛烈攻击，但绝对没有人是能够忽略他的。之所以会有贬低他性格中这一面或者那一面的企图，是因为现代心灵难以接受相对原始，近乎迷信的宗教思想居然可以与数理科学和有关宇宙的猜想等理性追求相调和、相结合；但在公元前6世纪这样的结合不但可能，而且是自然的。”③ 这可以说是近数十年来英美折衷派学者谨慎、持平态度的最好表述。

应该是由于这些学者的影响吧，布尔克特的态度在20世纪70年代末发生了几乎可以说是一百八十度变化，转而承认“从后代观点看来，毕达哥拉斯成为了数学与数理科学的创始人。至于柏拉图之前的资料则显示，（他所创造的是）数目象征、算术、永生与死后生命教义，以及苦修生活规则的奇异混合体……一个6世纪的爱奥尼亚人基本上是有可能将巴比伦数学、伊朗宗教，甚至印度灵魂转世教义融铸于一炉的”④。此外，也应该提到，现在已经有详细研究显明，即使是把科学带入现代的牛顿，也同样是在思想最深层次糅杂了严格推理精神和属于中古之物质生化、质变思想的人物，他花费在研习、探索炼金术，包括夜以继日地做炼金术实

---

① 见 Heath 1965, i；Guthrie 1962；Kahn 2001；Huffman 1993。本章资料主要取自 Guthrie 和 Kahn。研究毕派重要传人费罗莱斯（Philolaus）的赫夫曼（Carl A. Huffman）认为，毕氏教派特征是生活方式多于哲学观念或者数学研究，但费罗莱斯哲学所引入的数学观念是成熟和有深度的，而非如布尔克特所称，纯属神秘主义。见 Huffman 1993, pp. 54 - 77。

② Freeman 1959, pp. 76 - 77, 81.

③ Guthrie 1962, p. 181.

④ Burkert 1985, p. 299.

验的时间、精力，实际上远远超过数理科学①。这可以说是在科学进化过程中，将完全不同性质、倾向的思想混杂在一起的最佳例子。

因此，我们认为，毕氏个人的实质科学贡献容或不易确定，但他将科学追求带入了希腊思想核心的倡导、开拓、激励之功则无可置疑。在下面我们不再重新检讨上述已经延绵一个半世纪之久的争论，而只在力求持平、合理的前提下，将毕氏及其教派（所谓 Pythagoreans 的性质兼具教派与学派，所以我们将两个名称混合使用，不严格区分其意义）的历史、思想、影响作一综述。我们将尽量采用批判史学，特别是布尔克特的考证成绩，但对没有原始资料支持的古代传说亦并不一概排除，而毋宁采取同情和谨慎、暂时存疑的态度使用。这大致上接近格思里和卡恩的立场，而比近年毕氏传记作者戈尔曼（Peter Gorman）的立场带有更多批判性②。上世纪初在中国风起云涌的《古史辨》疑古思潮多少也是西方实证史学冲击下的产物，然而其观点最终为殷墟发掘和其他考古证据显示为过分粗疏。因此我们今日对于古代传统记载、传闻是需要在存疑、批判之中，同时采取重视和谨慎态度的。对中国古史如此，对西方科学的源头亦复如是。

二、毕达哥拉斯其人

和希腊早期其他哲学家不一样，毕达哥拉斯（Pythagoras，约公元前570—前490）的重要性不仅仅在于其个人学说，而更在于他所创建的教派亦复是学派——其实那已经和他本人融为一体，无从清楚分辨了——以及他所树立的精神风格。换而言之，他不仅立言，更加立功、立德，其事业、影响直可与释迦牟尼、孔子、耶稣等开百世风气的大宗师相提并论（图版4）。在底子里，德国实证派学者对他的强烈批判和否定态度，正就在于认定，他这宗教身份与希腊理性精神不兼容。但这样将纯粹的“理

① 这方面的开创性研究见 Dobbs 1975 及 Dobbs 1991；详细讨论见本书 § 12.6 及 § 12.9。
② 见 *Gorman 1979*。

性精神”强加于古人是很成问题的。事实上，前苏格拉底自然哲学家也处于从宗教到理性的过渡时期，他们绝少不受宗教思想影响，色诺芬就是最好的例子。但毕达哥拉斯和他们还不一样：他是有意识地要从根本上结合宗教的永生追求与理解宇宙奥秘的重智精神。虽然教派本身不成功，但就其气魄、胸襟，以及对希腊重智精神的开拓之功而论，他却完全可以和所谓“轴心时代”那几位开山宗师并列而无愧。雅斯贝斯在其《历史的根源与目标》中完全没有提及他，无论是出于什么原因，都是令人遗憾的。

时代背景

毕达哥拉斯的雄心是综汇多个远古文明传统然后发扬光大之，因此要了解他和他的学派，必须先了解他和远古传统的关系。但这并不容易，因为我们对他的确切事迹知道得太少，能够完全确定的更是几乎没有。

首先需要讨论的，自然是他和希腊传统的关系，这大致上可以从三个方面看。就宗教而言，对他影响最大的，无疑是希腊本土的奥菲士教派（Orphism）。奥菲士（Orpheus）相传是荷马以前的神话人物，但是以他为名的教派之兴起则晚得多，大致是在公元前6世纪早期，其活动范围以意大利南部为主，这和毕氏教派发源的时间、地点相吻合。不但如此，而且毕氏教派认为灵魂不灭，视身体为禁锢灵魂的坟墓，因此重视来生和洁净仪式，又特别推重音乐的功能，这些也都和奥菲士教派的理念、教训相符合。所以两者有密切乃至直接传承关系，是没有什么疑问的。就师承而言，根据他的传记记载，毕达哥拉斯是菲勒塞德斯（Pherecydes）的弟子，后者是一位与希腊七贤同时的传奇人物，据说他开导毕氏，令他意识到自己是大神埃塔里德斯（Aithalides，使神赫墨斯 Hermes 的众多后裔之一）以及《伊利亚特》人物尤福耳玻斯（Euphorbus）等前人的转世。因此菲勒塞德斯颇有可能是毕达哥拉斯承受“灵魂转世”（metempsychosis）和“追忆前生”（anamnesis）等奥菲士观念的具体途径。最后，就哲学传统而言，据说毕达哥拉斯曾经见过泰勒斯和阿那克西曼德这两位米利都学派的先哲，并曾经聆听后者讲学，这从时代和地域看来，都很有可能。而

且，泰勒斯对于数学的兴趣，以及对于埃及作为一个充满智慧的古老文化之向往，还有阿那克西曼德以“无限”作为宇宙原质的观念，显然也都对于毕氏及其学派产生了影响。所以，在宗教和自然哲学两方面，毕达哥拉斯深受希腊本土观念、思想熏陶，那是没有疑问的。

然而，我们却不应该把毕氏局限于希腊文化圈以内，而否定他和东地中海其他文明的交往、联系，或者忽视这些关系的重要性。这种交往虽然没有原始资料作为证据，然而从公元前5世纪初开始就有记载。而且，从毕氏家世、经历（见下文）和当时地中海东部海上交通和贸易频繁的状况看来，这在实际上是极有可能的。例如，在当时，毕氏家乡萨摩斯岛的僭主波利克拉提（Polycrates）和埃及的法老阿美西斯（Amasis）有亲密的同盟关系，后者因而准许希腊人在尼罗河三角洲西边建立殖民地诺克拉提斯（Naukratis）。此外，从上一章所讨论过的荷马史诗所受西亚文学，特别是《基格米殊》史诗的广泛、深刻影响，也可见毕氏的东方渊源不容忽视。所以，我们毋宁认为，毕达哥拉斯的确有相当可能性如他的传记所说，曾经游历埃及和古巴比伦，并且逗留了相当时期，从而受到其宗教与科学，包括这两个远古文明的神庙、庞大祭司组织，以及相当丰富的天文学和数学知识累积所影响。他之以数字和数学观念来建构宇宙观，以及在祭祀中禁止用羊毛织物的禁忌，都可能源自这两个古老文明。在希腊历史和哲学传统（例如反映于希罗多德和柏拉图）中，埃及被视为学问与智慧的泉源，这种普遍的观念往往被用来“解释”同时也就否定毕达哥拉斯的东方联系。这种态度是很奇怪的，因为前述观念之所以普遍，不可能完全没有事实上的根据，而且，无论其是否有根据，这种观念本身，也就可能成为促使像毕达哥拉斯那么一位充满好奇与求知欲望的年轻学者向往和出航东方的动力。最后，他的轮回思想以及素食禁忌，则指向印度的影响：由于在居鲁士大帝之后波斯帝国的版图与印度接壤，因此这种影响的可能性也不容轻易否定。

生平及事略

据我们所知，在古代毕达哥拉斯最少有德谟克利特、亚里士多德和亚

氏弟子亚里士多塞诺斯（Aristoxenus）三位公元前4世纪学者撰写的传记和述评，但这些都已经失传，其中的资料（包括亚里士多德另一位弟子和狄克阿科斯 Dicaearchus 的论述）除极少数残片以外都只通过公元1世纪左右的新毕派学者尼高马可斯（Nichomachus）和阿波隆尼亚斯（Appolonius of Tyana）而传给公元3—4世纪间的新柏拉图派学者波菲利和艾安布理喀斯；他们师徒二人以及同时代的第欧根尼（Diogenes Laertius）所留下的三本传记就是我们今日了解毕氏生平的主要依据①。

根据传记，毕达哥拉斯祖籍巴勒斯坦的腓尼基，父亲尼莫沙喀斯（Mnemsarchus）是一位铭刻师（engraver），后来移居萨摩斯，那是处于小亚细亚西岸的小岛，邻近米利都，两者都是爱奥尼亚的一部分。因此，和泰勒斯一样，毕达哥拉斯也有东方血统，并且很可能由于家庭缘故而自幼就有东方联系和经历。他大约生于公元前570年，曾经师承同样是来自东方的哲人菲勒塞德斯②，后来因为与当地僭主波利克拉提意见相左而离家游历，后者还大方地赠以程仪，为他写介绍信给埃及法老阿马西斯，令他至终得以在孟菲斯的神庙中学习数理知识、教义和仪轨，后来据说又为征服埃及的波斯大军掳至巴比伦，从而得以学习其科学和宗教③。他完成游历返回萨摩斯，可能已经是四十岁，即公元前530年前后的事情了④。

其后没有多久，他移居希腊人在意大利南部的重要殖民地克罗顿（Croton）。这似乎是经过深思熟虑和充分筹划的行动，并且他当时已经颇有名声，因为甫经抵达就立刻受到当地领袖盛大欢迎，从而有机会对民众

---

① 这三本传记和其他有关毕氏的原始资料的英译都收集在 K. S. Guthrie 1987 这一资料集中。

② 菲勒塞德斯是叙利亚人，在第欧根尼《名哲言行录》中有传，但仅记载生平及事迹，而不及其学说。

③ 波利克拉提成为僭主是在公元前538年，而根据亚里士多塞诺斯所传下的资料，毕达哥拉斯赴克罗顿是在公元前532/前531年左右，因此他在东方不可能长期游历——除非这是在波利克拉提成为僭主之前，并且是自己出资。由于波斯迟至公元前525年才征服埃及，因此他从埃及被掳或者随军到巴比伦之说，也与上述资料冲突。

④ 毕氏赴意大利之前的半生事迹并无确切证据，这里所述，是新柏拉图派学者所撰传记中的传闻，但他往埃及学习的故事早在公元前4世纪已经由著名雄辩家伊索克拉底流传，历史学家希罗多德也有暗示。

和年轻人甚至妇女演说，不旋踵又获得广泛尊崇，建立了以他个人为绝对领袖的教派和强大政治影响力。而他在政治上是颇有建树的：首先，相传他为克罗顿制定了一部宪法；其次，由于他的建议，克罗顿在公元前510年决定接纳邻近极其繁荣的大城锡巴里斯（Sybaris）的上百名流亡贵族，从而引起与该城开战，并且大获胜利；最后，甚至有学者将钱币之在意大利南部包括克罗顿出现，从而引起经济制度的革命，也归功于他①。无论如何，他在克罗顿的权力和精英统治（这一般被视为最高尚的“贤人政治”aristocracy）因此得以巩固，其教派也得以在意大利南部所谓“大希腊”诸城市间广泛发展。

但在公元前490年左右，权力高度集中于其首领，而行事作风又极端隐密的教派可能惹起民众反感，从而遭遇强大反对力量，敌对势力可能是守旧元老和新兴“民众政治”（democracy）运动两方面结合而成。这样，被毕氏认为心术不端而拒绝接纳入教的当地贵族塞隆（Cylon）趁教派核心分子聚会之机，把他们围困纵火，从而一网打尽，仅有两个年轻人得以身免。当时毕达哥拉斯本人是否一同殉难，抑或如另一种传闻所云，见机逃往邻城梅塔庞同（Metapontium）躲避，最后在神庙中被围困饿死，或在该地病逝，则无法确定。另一种被广泛接受的说法则是：教派其实经受过两次打击：第一次在公元前490年，其后略为恢复；第二次则在毕氏身后，亦即公元前450—前460年间，而塞隆之徒以火围攻教派，几乎将之全部消灭，是在后一次②。无论如何，经此沉重打击，毕氏教派的第一代几乎全军覆没，自此一蹶不振，再也未能恢复其政治势力和统一组织，而逐渐趋于式微，教众则逐渐流散到各地，特别是雅典。

这样，好像就结束了毕达哥拉斯神秘而悲剧的一生，但其实，正如所

① 见 Guthrie 1962，pp. 176 - 177，但是根据一般史书例如 Hammond 1986 的记载，钱币最早是在公元前7世纪中叶出现于吕底亚王国，在公元前7 - 前6世纪间传播到爱奥尼亚和希腊，在公元前550年已经传到大希腊区，所以毕达哥拉斯倘若与此有关，那么他赴克罗顿的时间就需要作基本修改。无论如何，从他的生年（公元前570）看来，这不大可能。

② Burkert 1972，p. 117.

有神龙见首不见尾的传奇人物一样，他真正的生命才刚刚开始呢。

三、从奥林匹克诸神到奥菲士

毕达哥拉斯在克罗顿所建立的教派是具有革命性和巨大吸引力的：在理念上它秉承希腊宗教观的最新发展，在结构上它更开创了前所未有的形式。但这个发展并非凭空而来，它和公元前6世纪出现的奥菲士教派有极其密切关系，而后者则是希腊宗教长期发展的产物，所以要充分了解毕氏教派，我们必须从希腊的宗教传统说起。

荷马传统下的宗教观

由荷马史诗所塑造的希腊宗教观是相当朴素和高度人格化（anthropomorphic）的：众多神祇与凡人大体相似：他们群居奥林匹斯山上，组成一个松散、有等级关系、以宙斯大神（Zeus）为首，一共有十二位主要成员的大家庭。个别神祇的行事表面上要顾及“公义”，但实际上则是从个别的喜怒哀乐以及私欲、好恶、爱情、利害关系出发，而并非基于道德或者其他公平原则；他们的能力远远超乎常人，但说不上全能、全知或者无所不在，而且彼此之间仍然有强弱之分。最重要的在于：人神之间的基本分别是神祇都是“永生”（immortal）的，常人无论如何卓越英勇，都逃不过死亡的命运，也就是最后会魂消魄散，失去丰富感情和强大力量。《伊利亚特》的主角阿喀琉斯对自己命运的悲叹，是这个“人神之辨”的最好说明——事实上，这部史诗的重要性就在于它是体现上述原始宗教观的权威经典。

在此观念下，神人之间的关系颇为简明和直接：人绝不可如奥德修斯那样狂妄自大，出言不逊，以致干犯神怒而遭受谴罚，而必须谦卑恭敬，不时奉献祭祀，以得其欢心和助力。但亦仅此而已，此外则两不亏欠：人既不须遵守道德戒条，神亦无其他特殊恩宠可以赏赐。因此宗教以族群或者城邦所侍奉的神祇为重心，而实践机制则系于奉献祭礼的神庙和主持其事的男女祭司，它的性质是公共、公开和带有强烈现实意义，而并不涉及

个人修养或者道德规范的①。

本土宗教的永生追求

然而，希腊人的精神需求并不能完全满足于这种简单、浅白、功利性的崇拜。事实上从荷马时代甚至更早开始，他们的宗教生活中就已经包含了若干“非理性”成分，也就是超越现世的追求。这大致表现于巴克斯（Bacchus）狂欢、埃洛西斯（Eleusis）奥秘和奥菲士（Orpheus）传说等三个方面。至于这些崇拜、追求结合成为有系统的教义，乃至有组织的教派，即所谓奥菲士教派（Orphism），则是公元前6世纪的事情。

酒神巴克斯（Bacchus，又称狄奥尼索斯 Dionysus）是个非常奇特的现象②。据传说和文学作品描述，巴克斯的男祭司会在午夜带领大队妇女吹笛打鼓，列炬游行，到城外荒山饮酒，放纵狂欢，达到高潮时会撕裂和咬食野兽甚或小儿，或者抗拒其活动的人，也就是解除文明所形成的心理束缚，释放心灵深处的野性与活力。这种带有原始性质的狂欢（*orgia*）运动源出小亚细亚中部，后来传入马其顿东部的色雷斯，然后如野火般蔓延、征服全希腊，在公元前5—前4世纪间已经被希腊人基本接受、“净化”和整合到传统宗教系统中去。由是，它产生了一个微妙而相当重要的变化：巴克斯门徒（所谓的 Bacchant）在狂欢中会获得自己能力大增，已经上升为神祇或者和神祇合一的感觉。由于神祇的特征是永生不灭，这样，通过宗教仪式、活动而获得永生，也就是超越凡人固有限制的观念，开始渗透到希腊思想中去。当然，这只不过是在狂欢中所产生的短暂和间接感觉，真正把永生作为基本教义，是后来的奥菲士教派，所以它和巴克斯也是有密切关系的。

和巴克斯狂欢同样古老，而在希腊文化中可能更为根深蒂固的，则是所谓“泰利台”（*teletai*）神秘仪式，那是在雅典城外不远之处的埃

---

① 有关希腊宗教整体，见 Burkert 1985；对其传统宗教的简明论述，见 Guthrie 1950，Ch. 1－3。

② 有关巴克斯的讨论，见 Guthrie 1950，Ch. 6；Burkert 1985，pp. 290－295。

洛西斯一个称为泰利殿堂（*Telesterion*）的神庙中举行[①]。这秘密仪式在殿堂中心的地窖中举行，主要是让经过洁净的领受者亲眼目睹特殊景象，从而成为“亲睹者”（Beholder），亦即“入道者”（the initiated），这样他们在死后就不必降到传说中的“阴间”（Hades），而得以升往埃洛西乐土（*Elysium*），换而言之，就是获得永生。这埃洛西信仰（Eleusinianism）大概起源于以下的远古传说：农业之神地母（Demeter）的女儿珀耳塞福涅（Persephone）被地下冥王（Pluton）强占为妻，地母以拒绝生育万物为要挟，求得宙斯大神应允珀耳塞福涅每年可以有三分之二的时间返回地上，故在此意义上她是不死的。这信仰可以追溯到迈锡尼甚至克里特的克诺索斯时期，但在《奥德赛》里面，也同样有它的痕迹[②]，而在公元前8—前7世纪，它已经为雅典城邦所吸收，成为官方祭祀的一部分。这样，凡人可以通过埃洛西仪式（即目睹其神秘景象）而战胜死亡的思想，逐渐深入希腊人的思想，并且在公元前5世纪文学作品中不时表达出来[③]。

奥菲士教派的兴起

至于传说中的奥菲士，则是荷马以前的远古神话人物[④]。从不少在公元前5世纪陶瓶和其他器物上描绘的景象，可以推断他是希腊人，移居当时被认为是“蛮方”的色雷斯。他酷爱音乐，特别是歌唱和竖琴，虔诚崇拜太阳神阿波罗（Apollo），而对当地的巴克斯教徒不予理会，由是干犯了巴克斯或者妇女的忌讳，为疯狂的“巴克斯疯妇”（Maenads）所杀害并散弃其肢体。然而他的头颅在漂浮到爱奥尼亚之后却继续存活，并且能作预言。这个故事所反映的，可能是希腊本土的阿波罗精神与色雷斯的

---

① 有关“泰利台”仪式的详情，见 Guthrie 1950，pp. 281 – 294 以及 Burkert 1985，pp. 285 – 290。

② 书中借海神之口说，由于墨涅拉俄斯（Menelaos）是海伦（Helen）的丈夫，也就是宙斯神（Zeus）的女婿，所以他将来不必遭遇凡人死亡的命运，而可以在埃洛西平原（Elysian plain）逍遥快活。见 *Odyssey*，iv 即 Homer/Palmer 1921，pp. 561 – 570。

③ 这景象到底为何，现在已经无法细考，但从多方面推测，则很可能是与种子之在地下腐烂，然后又萌生出新的植物有关。

④ 关于奥菲士以及奥菲士教派，见 Guthrie 1950，Ch. 11 以及同一作者的专书 Guthrie 1993。

狄奥尼索斯精神在遭遇过程中的碰撞、冲突。无论如何，后来这两者倒的确是可以共同相处，甚至在某些特点上融合起来——不但在全希腊性的德尔斐神庙（Delphic Oracle）中阿波罗和狄奥尼索斯两者同受供奉；而且，很吊诡的，虽然奥菲士是为巴克斯疯妇所害，后来奥菲士教派所供奉的神，却反而是狄奥尼索斯①。

通过如今已经无从考证的过程，上述民间崇拜、传说在公元前6世纪糅合、发展成为意大利南部“大希腊区”的奥菲士教派。同时，它在本质上也起了巨大的变化，成为具有成文和系统性教义的信仰，并且对信徒的行为、生活提出规范性要求，也就是具有高等宗教意味了。它的教义散见于公元前5世纪及其后多种历史、哲学、文学著作，特别是柏拉图《对话录》和书信②，除此之外，在南意大利墓葬出土了不少刻有属于“赴阴间途径指引”性质的金牌，那可以视为其信仰的原始证据。至于传世的八十多首所谓《奥菲士颂歌》（*Orphic Hymns*）则是以个别神祇为歌颂对象，其内容与教义的关系反而不那么密切。

奥菲士教义最根本的是“转世”（transmigration）思想，即人身会死，但灵魂不灭，而且可以转世成为其他新生命。由此就产生了修炼和死后审判的观念，也就是说：生前必须秉持公义，戒杀生和肉食、牲祭，需经常奉行洁净仪式（即所谓 katharsis 者，不穿用亦不在祭祀中使用羊毛织物是其中要项），这样在死后审判中就可以不致受惩罚而得到赏赐欢乐，例如前往埃洛西乐土。然而，死后的赏罚都是暂时性的，其后都要转世成为其他生物；而对于常人来说，要经过十个长达一千年的轮回才有望重新做人。从上述思想又连带产生了灵魂远比身体为重要的观念，由此而有身体（*soma*）是禁锢灵魂的坟墓（*sema*）之说，亦即只有当灵魂离开了身体也就是死后，它才会回复本性和获得自由。另外一种经常出现于前述墓葬金牌上的教诲是：人死后灵魂离开身体便会感到苦渴，这时候必须避免饮下

---

① 此点的详细讨论见 Guthrie 1950，pp. 198－202。

②《对话录》与此有关的主要篇章是：*Meno* 81*a*；*Phaedo* 62b，69c，70c；*Gorgias* 493a；*Theaetetus* 170c；*Cratylus* 400c，402b；*Republic* 364e；*Philebus* 66c；*Laws* 715e；*Epistles vii*，335a。

白香柏树下的“忘泉”（Spring of Lethe），而要饮用“忆泉”（Spring of Mnemosyne）之水，这样才能够记忆前世经历。

一直到公元前7世纪为止，希腊宗教的核心是祭祀和崇拜，那是集体的，着重点是现世的具体行为。奥菲士教派所宣扬的，则是个人服膺于一整套观念和教条，从而潜心于长期和持续修炼，其重点已经转移到超越现世的来生，以及尘世外的阴间和埃洛西乐土等境域。这巨大变化大概并非一般希腊人所能够领会和接受，所以奥菲士教派似乎也始终未曾在群众当中发生广泛影响。甚至它到底有多少信徒，有无共同经典，是否有组织等等基本问题，答案也都还不是很清楚。它的重要性主要在于它和毕氏教派的关系。

毕达哥拉斯教派和奥菲士教派的关系是极为奇特、微妙的：两者在差不多相同时间（公元前6世纪）出现于相同地域（意大利南部），而且两者有关灵魂、转世、洁净、禁忌、修炼等各方面的观念、教义都非常相近——甚至可以说是无从分辨。因此两者到底孰先孰后，孰因孰果，或者互为因果，都颇难于考证、判断①。我们只能推测，它们彼此之间必然有极其紧密的互动关系罢了。在另一方面，毕氏教派和奥菲士教派却也并非完全相同，而是有明显分别的：前者有明确的教主、组织、教义、教规、历史，而且，更重要的，它的教义之中还有很重要的，和灵魂、转世等观念不一样的数理和自然哲学成分，那也是后者所完全缺乏的。从这一点看来，我们可以猜测，毕达哥拉斯是带着爱奥尼亚的数理和自然哲学精神来提升、改造南意大利的奥菲士信仰，从而创造出毕氏教派和它的教义来。这和释迦牟尼在婆罗门教的基础上创造佛教，以及耶稣在犹太教的基础上创造基督教，都不无相似。那么，毕氏教派的组织和信仰到底是怎么样的呢？他们所谓的宇宙灵魂，又究竟是怎么一回事呢？

---

① 有关两者关系的讨论，见 Burkert 1985，pp. 296 - 304。此外，希罗多德谈到羊毛禁忌的时候，把“奥菲士和巴克斯的跟随者”视为“实际上是埃及人和毕达哥拉斯的追随者”，见 Herodotus，*Histories* ii，p. 81。

四、毕氏教派的组织与信仰

毕氏教派可以从它的教规、仪式等具体行为，以及组织、教义、信仰等抽象观念这两方面来了解。当然，这两者并非没有关联：前者在很大程度是决定于后者，或者是从后者获得根据的①。

教规与组织

毕氏教派是具有严格制度和纪律的组织，对于思想、文化都相当散漫自由的希腊人而言，这样的严密组织显然是非常新奇，没有前例的事物。因此它在成立之初发挥了极大力量，令教派得以迅速发展；至于后来教派受群众围攻，终于覆灭，恐怕也多少和它的组织方式有关。教派的严密组织主要表现于两方面。首先，是它的"密教"性质，即严格规定所有教徒必须对教外严格保守秘密，不得泄露有关教派的一切规条、教训、学说、状况；在教内则不立文字，不作记录，所有教导、指示都只凭师徒、上下级之间的口耳相传②。这斩钉截铁的规定保证了教派的认同和团体纪律，而且似乎的确为教徒所遵奉不渝，只是在教派覆灭多年之后才被放弃。其次，是它对教徒"彻底投入"的要求：入教者须先行经过审查，初入教者只能在帷幕以外旁听教诲，然后须经五至七年的人品和心志考察，合格之后方才准许进入内围，直接聆听毕达哥拉斯本人的教谕；同时教徒须保持缄默，谨守戒律，经常努力学习、思索、求真，过有规律的团体生活；甚至教徒个人财物相传也必须奉献成为公有。以上这些规条不大可能纯属毕达哥拉斯个人的创造、发明，而

---

① 本节论述主要参考以下资料：*The Pythagorean Sourcebook*，即 Guthrie 1987；Guthrie 1962，Ch. 4；Burkert 1972，Ch. 2；Kahn 2001，Ch. 2－3；Gorman 1979。

② 与毕达哥拉斯同时的其他"前苏格拉底"自然哲学家都有片言只语流传，但毕氏则无任何言说或者文字遗留，甚至连传说中的也阙如；毕派一直要到公元前 4 世纪的费罗莱斯才相传有文献（即其《论自然》）留存。这方面的讨论，见 Burkert 1972，pp. 218－221。

颇有继承古埃及、巴比伦神庙祭司组织经过长期发展而形成的传统之痕迹①。无论如何，这些规条显然是为了建立一个以励志、清修、追求智慧、知识为目标，而具有严格等级制度的紧密宗教团体；甚至我们也不免感到，这和中世纪基督教修道院的规定颇为相似。但它们最主要的特点是：个人修炼和知识追求有相同的重要性，而且两者是紧密相关的。

教派在修炼方面的要求最为人熟知的是素食，特别戒吃豆类；祭祀时不杀生；不用毛织品；注重洁净身体（Purification）仪式，等等。这些仪式的细节和确切意义大多数都不复可考：例如"洁净"仪式虽然一直流传到公元3—4世纪"新柏拉图学派"时代，但它实际如何施行，意义何在，却都已经无法准确说清楚。不过，也可以大致猜测，这些仪式、禁忌可能是混合了其他不同宗教传统，包括民间习俗、禁忌而来②。其中最显著的，自然是素食和戒杀生这两项禁忌与印度佛教的关系，以及祭祀时不用毛织品的禁忌与埃及神庙的关系。至于著名的戒吃豆类禁忌便有许多不同说法，包括豆的形状与某些生殖器官相似，它埋在地下或者粪堆中就会变为人形，等等。但溯其本源，则很可能是久远相传的民间禁忌被教派所撷取，然后另外赋予理性化解释；教派其他特殊格言、禁忌，例如：不可统搅炉中炭火，不可分掰面包，不可拾取桌上掉下的食物，不可食用白公鸡或者某些视为神圣的鱼类，等等，当亦作如是观。从此看来，融合、调和多种不同宗教、传统的理念、仪式，可能是毕达哥拉斯创建教派的基本策略。当然，这些仪式、禁忌有多大程度能够与教派的中心教义整合，则是另外一个问题。

最后，据说教中徒众还区分为"聆听众"（*Akousmatikoi*）和"习数众"（*Mathematikoi*）两部分，前者注重仪式和教规，但并不否认后者为毕派弟子，后者则致力于研习和探索宇宙奥秘，而且否定前者在教中的地位。但这种划分似乎并不严格，甚至可能并非教派原来组织中的结构，而

① 布尔克特对此持怀疑态度，认为保持沉默只不过是诸如萨满（Shaman）、苦修士的一般行径。但这样就等于彻底否定新柏拉图学派传统及其有关材料，把可信资料严格限制于公元前4－前3世纪及其前，这我们认为未免因噎废食了。

② 对古希腊信仰与宗教洁净仪式的一般讨论，见 Burkert 1985，pp. 75－84。

只不过是教派核心覆灭之后，教众重新聚合时所出现的派系分歧而已。无论如何，这区分到了公元前4世纪就变得明显起来，两派徒众积不相容，乃至互相攻讦，最后各自走上完全不同的道路。

生命主宰与轮回理论

教规是形式，教义才是内核。毕氏教派教义的核心是灵魂不灭与永生追求。这基本观念可能直接承受于奥菲士教派，也可能同时取材于埃洛西斯信仰甚至希腊以外的其他宗教，例如佛教，但现在已经无从稽考。以下我们就散见于公元前4世纪及其后典籍的资料，将毕氏教派的这一套核心观念、教义作简单综述，至于其各部分出现的先后、发展阶段，以及与奥菲士教义的关系，则无法在此详细讨论，必须求之于专门论著了。

毕派教义最核心的观念是：人的灵魂是生命的主宰，它是不灭、永存的，也就是离开躯壳之后仍然可以独立存在。由此而引申出来的是相当完整的一套修炼和轮回观念。它包括：（1）人的现世躯体犹如禁锢、羁绊灵魂的坟墓；（2）人在生之时其灵魂会受世上不洁事物或者个人不洁、不当、不义行为污染；（3）但人可以通过沉默冥想、数学与哲学探究，以及临终的净化仪式等修炼工夫而重新恢复灵魂的纯洁；（4）人死后灵魂将在阴间受审判，并且根据生前行为亦即“业报”，以及其修炼、洁净工夫的深浅，而投身于不同等级的生物，即所谓“转世”（transmigration），如此轮回，以迄经过十次，每次为期千年的转世，才有机会得以再复为人；（5）因此所有生物，包括动植物，都同样具有灵魂。

从上述灵魂观，毕派更进一步发展出灵魂的宇宙观，即是宇宙整体也有其大灵魂，或曰“宇宙灵魂”（Cosmic Soul），人的个别灵魂是由宇宙大灵魂的“流溢”或曰“发射”（Emanation）而来。因此，人的灵魂也有可能通过修炼而上升为遨游空间，不再受生灭变化限制的天体——至于个别神祇的灵魂，也同样是运行中的天体。这样毕氏教派的灵魂观统摄了人生观、救赎观乃至宇宙观，构成一个以灵魂为核心的泛神神学

系统①。

五、宇宙奥秘的探索

毕氏教派的特点是宗教与科学并重，并且在最根本之处将两者结合起来融为一体，这可能正是它在早期对一般信众以及学者都具有强大魅力的秘密。然而，为什么表面上截然不同的两者可以紧密结合起来呢？

从宇宙秩序寻求永生

从表面看来，宗教与科学可以结合，是因为宇宙奥秘的探索被视为一种洁净心身、修炼灵魂的法门。但何以宇宙奥秘的探索会有此洁净功效？这就接触到灵魂和宇宙的本质了：毕派认为，人的灵魂本来就是宇宙整体的一部分，因此才得以分享其条理、秩序，从而得以自由自在，长存不灭。要受世俗躯体污染的灵魂回复到这个状态，首先要做的，自然便是充分明白宇宙本身的原理、结构和奥秘，因为这思索、理解、明白的过程自然就会改变灵魂本身的状态。柏拉图在《国家篇》中有这么一段话："人倘若专注于那些有秩序和不变的事物，而这些事物的作为是依据理性而不会互相伤害，就会仿效它们，竭力受其同化。人怎能不去仿效他所尊崇的事物呢？爱智者亲近神圣秩序，因此会在人性允许的范围内变得神圣与条理清明"②，那正是这一观念的最佳论述。此中的道理和宋儒"变化气质"之说，表面上不无相似，但是它却是以宇宙的秩序、原理而并非道德形象作为变化的楷模，两者正所谓"差以毫厘，谬以千里"。因此，毕氏教义的灵魂观只是其一面，另外一面便是它的宇宙观，也就是宇宙生化、结构的原理。它的神学和宇宙论是有机地结合起来，不可分割的。这是毕氏教派独特之处，反映它一方面承受奥菲士和埃洛西斯传统；另一方面又承受自然

① 这个系统中的某些观念，例如"流溢"、"发射"观念，大概并非教派原来所有，而是后起的，迟至柏拉图甚至"新柏拉图学派"时代才出现。但这时序目前无法确定。

② *Republic* 500c，作者译文。

哲学观念——这可以说是毕达哥拉斯其人创造力的表现。

宇宙体系的建构

在毕氏学派之前的米利都学派传统中，自然哲学也有两个不同层面：最根本是“原质”问题，即宇宙万象背后的基本原理；其次则是根据此原理对于自然现象的解释。毕氏学派大体上承受了这个传统，然而毕氏本人虽然没有留下片言只语，他的传人费罗莱斯和阿基塔斯留下的原始残篇也有限，但毕派学说所累积的资料却要比前苏格拉底自然哲学家丰富和繁复得多。这主要是因为这学派深深地影响了柏拉图和亚里士多德，两者著作都保存了大量毕派宇宙论的材料，其中尤以《对话录》中的《蒂迈欧篇》（*Timaeus*）论述綦详，义理精奥，被视为集古代宇宙论之大成，影响所及，随后的“新毕达哥拉斯学派”与“新柏拉图学派”学者研究、注释这些经典蔚然成风，由是而形成了一个庞大学术传统，一直延续到文艺复兴时代[①]。这些浩瀚无涯的文献我们自然无法在此讨论，以下仅能以早期文献为准，作个非常粗略的综述。

和其他自然哲学家一样，毕达哥拉斯学派也致力于“宇宙万物到底如何生成?”这个中心问题。但相对于泰勒斯之以水，阿那克西米尼之以气，赫拉克利特之以火，或者恩培多克勒之以四元素为宇宙“原质”，毕氏学派却作出了两个基本转变。首先，他们舍弃实体，转而以抽象原则作为宇宙生化的解释；不但如此，而且他们所提出的，并非限于一个简单的原则或者观念，而是有几个不同层次、不同面向的一整套观念，从而为整个宇宙系统的建立奠定基础。这两个基本转变，即其学说的抽象性与全面性，是毕氏学派之所以能够超越其他前苏哲学流派之上，成为西方哲学主流源头的原因。

如所周知，毕派认为“万物皆数”，数目是了解宇宙的关键。然而，在他们的观念系统中，数并非最原始：更为根本的，是无限、限度、和谐、单子、双子等一系列原始观念；数也并非直接化生万物：数是先生出几何形

---

① 在现代，《蒂迈欧篇》有以下专著的注释和论述：Cornford 1952。

体，后者才转而化生天体和世上万物。因此，从基本观念产生宇宙实体是个多层次过程，它可以称为“纵向发展”，在其中数目是承上启下的关键。此外，它还有个“横向发展”：除了与数目密切相关的算术之外，毕派所注重的，还有三个方面的探究：首先是音乐（这多少也显示该学派的奥菲士根源），它与和谐观念相关，而且音阶的构成可以从数学推算；其次是几何学，它一方面被认为是产生于数学，另一方面则被认为可以解释地、水、风、火四元素，以及行星轨道的结构；最后还有天文学，它是宇宙结构最清楚、直接的体现。算术、几何、音乐、天文合称“四艺”（quadrivium），它们在根基和功用上相互通连，构成了一个完整的学术体系。这体系之为毕派所创立，然后为古代西方学术传统所承袭，是众所公认的。

（1）无限与有限

现在让我们来看毕氏学派到底是如何建构宇宙的。费罗莱斯说：“宇宙中的性质（Nature）是由‘无限’与‘限度’构成：宇宙作为整体以及其中每一样事物都如此。”这里所谓无限（the Unlimited，*apeiron*）是指混乱、混沌，没有秩序的原始状态；限度（the Limiting）则指规范、秩序。从原始混沌中出现秩序、结构，宇宙于焉诞生的观念很早就有了。毕派的特别之处是以“限度”这个数学观念来分别混沌和结构，而且认为这两者并非先后相继，而是相辅相成，结合在每一样事物之中，而它们之所以能够结合，则是因为宇宙中还有“和谐”（Harmony）：“不相似，不相干，排列不一致的事物必须以和谐维系起来，这样它们才得以在宇宙中长存。”① 但什么是和谐呢？从上述残篇随后的论述中，可以得知它大致就是指乐音的音阶，特别是指产生音阶的琴弦长度比例。因此，毕派认为，算术与音乐的原理也同样是宇宙建构的原理。

在以上论述中，无限、限度、和谐三者一方面像是建构原则、原理，另一方面却又都好像是实在的质料、事物，亦即实体。事实上，当时的毕派学者还不能够清楚地分辨原则与实体这两者，因此就无所顾忌地把它们混淆起来。同样的问题，还在他们的其他论述中出现，这些后来都受到亚

---

① Philolaus Fr. 1 & 6，Freeman 1962.

里士多德的批判。

(2) 万物皆数

毕派认为数目(Number)是世上万物的基础。费罗莱斯的说法是:“事实上,一切可知之物都有数目,因为没有这个(数目)就无法用心智去掌握任何事物,或者去认识它。”① 但此话到底是什么意思呢?最粗糙、原始的解释是:许多自然现象之中都有数量关系,天文和音乐尤其如此,所以数目本身是实体,它就是直接构成事物的质料或者成分。亚里士多德的《形而上学》第一卷纵论哲学流派各家要旨,它以整整两大段讨论毕派,非常肯定和扼要地把毕派和数学发展的关系,以及其数学哲学的核心思想说出来,所以是值得详细征引的:“和这些哲学家(按:指“前苏格拉底”自然哲学家)同时以及在其前,有所谓毕达哥拉斯派学者致力于数学;他们是最先推进这门学科的,而且由于浸淫其中,他们认为其原理就是万物的原理。……这样,既然所有其他事物的全部性质似乎都出于数目,而数目又似乎是整个自然界中最原始的,他们认为数目的元素就是所有事物的元素,而整个天(whole heaven)都是乐音阶律,都是数目。”同书第十四卷更阐释了毕派数字神秘主义的具体内涵,及其与音乐的密切关系:“但由于看到感性事物(作者按:指以官感来认识的事物)也具有数目的许多属性,毕达哥拉斯派学者认为实物就是数目——不过并不是另有数目,而就是构成实物的数目。可是为什么呢?因为数目的性质出现于音乐的音阶和诸天(heavens)以及许多其他事物之中。”②

以上引文最后一句很重要:它说明毕派的确是由于数目的广泛功能与应用,特别是在音乐上的应用,而天真地将它与事物本身混为一谈。这个观念的随意应用最后甚至导致尤里图斯(Eurytus)以石卵描绘人形,然后将石卵数目宣称为“人的数目”那样直白、幼稚的做法,他因而受到亚里士多德的严厉批评③。

---

① Philolaus Fr. 4, Freeman 1962.

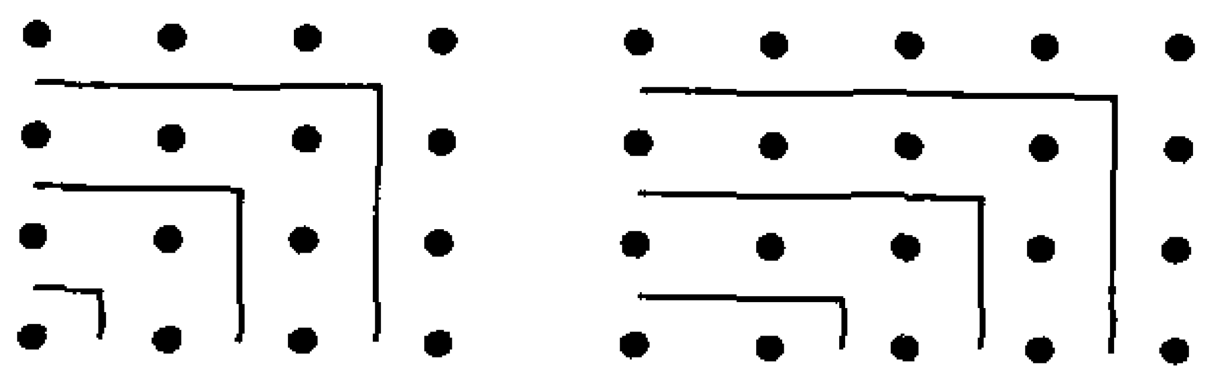
② Aristotle: *Metaphysics* 985b25 & 1090a20.

③ 尤里图斯是费罗莱斯的弟子,上述记载见 Aristotle, *Metaphysics* 1092b8;此问题在 Guthrie 1962, pp. 273 -276 有详细讨论。

(3) 数的生成和性质

对于毕派来说，数并不仅仅是计算符号或者工具，或者基本、单纯的逻辑观念，而还是神秘、有生命、有性格的事物："从所有人类活动与言词……都可以体察数目的性质和能力的作用。"这其中最基本的，就是偶数和奇数的分别：偶数和无限、多元、阴性等观念相关，它代表混沌和邪恶；奇数则和限度、单一、阳性等观念相关，它代表秩序和善良。然而"1"则被认为兼有奇数和偶数的性质，甚至不是一般意义的数，而是自然数序列的"生成者"(generator)①：代表限度的"1"作用于代表无限（亦即连续体）的"二元"（Dyad）产生"2"，那是第一个偶数。"1"作用于"2"再产生"3"，那是第一个奇数，等等。这个数目系列的产生过程同时也反映了无限与有限的结合构成可知之数的观念。

除此之外，毕派还从数目的构成推断出数的种种社会观念来："4"是第一个平方，它有"互换性"(reciprocity)，所以代表公义；"5"是由第一个偶数和第一个奇数组成，所以代表和谐、婚姻；"10"（the Decad）是"伟大、完整、无所不能"的数目，又是"神圣与人类生活的源头及其前导"②，这主要因为它是由1、2、3、4所构成，而这四者是构成几何形体以及音阶比例的基础，等等。他们更利用直角曲尺（gnomon）依次截取石卵构成的点阵来产生数的系列，从而赋予数目以几何观念：奇数是"正方数"，偶数是"长方数"，因为截取正方点阵，就依次得到奇数序列1，3，5，7，…而截取长方点阵，则可以得到偶数系列2，4，6，8，…（见下图）。



① "1"不被视为数的基本原因是数目含有复多的意义，因此不包括作为计数（counting）单位的"1"。至于它之被视为兼具奇数和偶数性质，则是因为当时没有"0"的观念，因此"1"被视为既是奇数的开端，同时也是偶数的开端，因此兼有奇数和偶数的性质，而不是一般意义的数。

② *Philolaus Fr. 11*，Freeman 1962.

显然，毕氏学派的数目观念和他们的宗教观念一样，也带有原始崇拜的色彩和痕迹。但他们并没有停留在这个数目神秘主义（Number Mysticism）阶段，而是从对于数目的敬畏、崇拜出发，作了各种猜测和探索，促成了科学的萌芽。

从数目衍生万物和宇宙

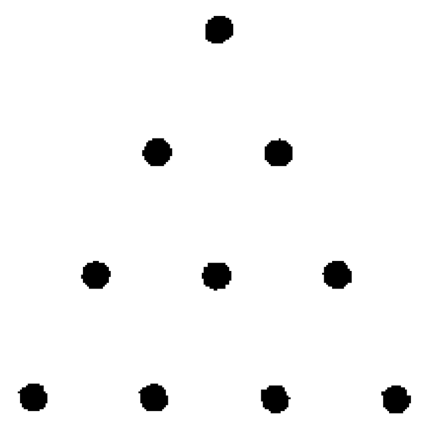
毕氏学派将数目的观念应用到所见之形体而有几何学，应用到所听闻者而有音乐理论，应用到天体的运动而有天文学，而且几何与音乐又被认为与天文密切相关。这大体上就是他们以数目来建构宇宙的途径。上述的“数目神学”以及下面讨论的“数目宇宙学”并没有留下原始资料，但在柏拉图的《对话录》，特别是《蒂迈欧篇》，以及亚里士多德的《物理学》、《形而上学》诸书则留下了大量痕迹；甚至，这些可以说就是柏拉图在晚年以及他去世后数十年间“学园”学者所致力建构的宇宙系统①。所以它在西方哲学和科学发展中的重要性是不可低估的。

（1）几何学

在最基本的层次，毕派认为数目序列的衍生和几何元素的衍生是一致的：最原始的是“1”，它相当于没有大小的点；其次是“2”，由于两点决定一直线，所以它相当于没有宽度的线；再其次是“3”，由于三点决定一个平面，所以它相当于三角形或者没有厚度的平面；然后是“4”，它相当于四面体（tetrahedron）或者空间。这样随着数目序列的前进，我们也可以依次得到维度（dimension）逐步增加的空间，以及在此空间中越来越复杂的几何形体，乃至现实事物。当然，最后这一步究竟如何才能够达成是个难题：如上面所说，此困难迫使某些毕派学者作出了十分幼稚可笑的猜测。无论如何，1，2，3，4 这四个最简单的自然数目，不但象征了从原始、没有大小的点产生（generate）几何形体乃至万物的过程，而且，正如下面立刻会谈到的，它又是用以构造三个和谐“音程”比例

① 有关柏拉图和学园中其他学者如何致力于以数目建构宇宙，最直接而详细的讨论见 Dillon 2003，pp. 17 – 29。

值的元素；而且，它们的总和是 10，最完美的数目。因此，毕派信徒以这四个数目的点阵构造成一个称为“tetractys”的神圣符号（下图），这以后成为他们的特殊标志，以及毕达哥拉斯教诲的象征。



就更复杂的几何形体而言，被视为毕派经典的《蒂迈欧篇》提到了五种正多面体：即四面体（tetrahedron）、立方体（cube）、八面体（octahedron）、十二面体（dodecahedron）和二十面体（icosahedron）。它们在数学上的了解和构造应该是柏拉图时代的事情，所以又称为“柏拉图立体”（Platonic solids）。然而，费罗莱斯残篇中已经提及五种所谓“球的立体”（bodies of the sphere），并且将它们与五种基本元素对应。《蒂迈欧篇》则更进一步提出下列实际对应关系：土是由立方体造成，因为它最稳定不会移动；金字塔即四面体最轻巧能动，所以造成火；其次是八面体，所以造成气；再其次是二十面体，所以造成水[1]；至于剩下的十二面体，根据后来的文献，则造成天球的整体[2]。这种对应可以视为毕派将恩培多克勒的四元素说和德谟克利特的原子说结合起来，赋予每种元素的原子以独有的正多面体形状，因为篇中特别说明这些多面体非常细小，只有当它们积聚成大块时才可见；至于“天球整体”则可能指充塞宇宙之中，有别于地面一般大气的“清气”（Aither），亦即后来所谓“以太”（ether）。这样，几何学就与宇宙基本质料的结构牢牢地结合起来了。

（2）音乐理论

我们在前面已经提到毕派与音乐的密切关系。这两者的渊源其实很深：奥菲士相传是古希腊七弦琴（lyra）的发明者，奥菲士教派则以重视

---

① *Timaeus* 55D－56C.

② Diels & Kranz 44A15，转引自 Guthrie 1962，p. 267。

音乐著称，因此毕达哥拉斯教派很自然地承受了这个传统，由是费罗莱斯认为截然相反的“无限”与“限度”必须通过“和谐”的作用，才能够长久地结合成为宇宙中的事物。他的所谓“和谐”，基本上就是毕派有关乐音和谐的发现和理论①。我们将这方面的详细理论附于本章的附录，在这里只讨论几个要点。

费罗莱斯的音乐理论最重要的，是提出了三个和谐的“音程”（interval），即“八度”（the octave）、“五度”（the fifth）和“四度”（the fourth），并且说它们的比例分别是（1:2）、(2:3）和（3:4）。此话牵涉一些专门词语，但用现代科学语言翻译出来，意思其实很简单。我们首先得明白，一个乐音（note）的高低（pitch）是由它的震动频率（frequency）决定的，而两个乐音之间的“音程”、“距离”或者所谓“音差”，则是指二者频率的比例（而非算术差——这点很重要）。所谓“八度”音程，就是指高音频率是低音频率的两倍；至于“五度”和“四度”音程的高低音频率比例，则分别是3/2倍和4/3倍。古希腊学者并不知道声音是由空气震动产生，更没有频率的观念。但他们以琴弦定音，而我们现在知道，在弦线张力（即其松紧）相同的情况下，琴弦长度和震动频率成反比例，因此，假如两根琴弦所发声音差别的音程是“八度”，那么高音弦和低音弦的长度比例就是1:2；同样，对应于“五度”和“四度”音程的弦线长度比例，则分别是2:3和3:4。然后，费罗莱斯又提出了“全音”(whole tone）和“半音”（semitone）这两个音程的观念：前者是“五度”和“四度”之间的差别，后者则是“五度”和三个全音之间的差别。

七弦琴（lyra）是古希腊最普通的乐器，它一般只需要将四根弦线调校到固定音差，即“最高弦”（其实是最长，所以最低音）比“最低弦”（最短，所以最高音）要低“八度”，比“第三弦”低“五度”，比“中间弦”低“四度”；至于其他三根弦线的调校则不是固定的，视乎需要而变化（见附录表3.1）。我们现在知道，两个乐音的频率比例越接近小的

① 费罗莱斯的音乐理论，见 Philolaus Fr. 6，Freeman 1962。

整数，则它们同时奏响的时候，就越显得和谐，也就是说，音程比例越接近小整数，则越显得和谐。因此，七弦琴有四根弦线，彼此之间的三个音程比例是用1、2、3、4等四个最小整数来构造，这似乎不足为奇。但实际上，这些比例的发现在当时肯定非常令人震惊，因为七弦琴的琴弦长度实际上并不相差很远：它们的调校基本上是凭着改变弦线张力和倾听其发音，而并不是改变长度。根据第欧根尼的记载，“他（毕达哥拉斯）还在单弦琴（monochord）上发现了音程。”① 因此，我们很有理由相信，这以简单整数建构的三个基本音程，加上更为复杂的全音和半音音程，的确是毕达哥拉斯本人用单根弦线，在固定其张力的状况之下，通过有系统的反复试验而发现的。事实上，这是毕氏发明中最没有争议的一项②。

然而，这是否全然是毕达哥拉斯或者他教派的独立发现，抑或他曾经从中东，特别是从巴比伦得到过若干重要启示，甚至某些相关乐理知识呢？我们现在知道，类似七弦琴的乐器在公元前2700年的苏美尔文明已经出现，而巴比伦的陶泥板上，也已经有乐谱记录了。因此，和它的数学一样，古希腊的音乐理论具有东方渊源的可能性不应该忽视③。无论如何，基本音程比例的发现给古希腊音乐理论带来了强大刺激，即使在费罗莱斯的时代已经可见端倪（见附录），其后许多学者都致力于此，其中最著名的是费罗莱斯的弟子阿基塔斯，亚里士多德的弟子亚里士多塞诺斯和天文学家托勒密。由于他们的努力，音乐理论在希腊文明中形成了强大传统，和“四艺”其他学科并驾争先，其影响一直延续到现代仍然未曾衰歇④。

除了音乐理论，毕派对于声音本身也有研究。例如阿基塔斯对于声音的产生机制作过猜测。由于当时完全没有，也不可能有空气震动而造成声

---

① Diogenes VIII. 11.

② Guthrie 1962, pp. 220 - 222；但也并非完全没有争议，见 Burkert 1972, pp. 373 - 376。

③ 类似于四弦或七弦琴的乐器在苏美尔文明早期，即公元前2700年就已经出现，而在苏美尔和巴比伦的陶泥板中，也发现了类似于乐谱的文献。见 Galpin 1970, Ch. 4。

④ 古希腊音乐理论的发展有极其丰富和复杂的历史，其详细讨论见 West 1992，其中 pp. 233 - 237 特别讨论了毕派的早期音乐理论。

音这个基本观念，所以他把声音的高低归之于发声物体的速度或者物体相互撞击的力量，又将声音的强度和高低这两个概念混淆，因此没有得到有意义的结果①。《蒂迈欧篇》又讨论了为什么特殊音程会导致和谐的感觉，它的猜想颇为有趣，甚至可以说是接近正确解释，不过始终因为最关键的波动观念未曾具备，所以也没有得到重要的结果②。

(3) 宇宙论

“四艺”的最后一项是天文学，也就是自然哲学传统中的宇宙论，包括宇宙的生成（cosmogony）以及结构。由于毕派宇宙论的发展过程长达一个多世纪，所以它并不是个严密自洽的系统，不但在细节上前后不完全一致，而且在主要观念上也有变化。以下就其大概作一个综述。

首先，就宇宙整体的生成而言，如前面所说，毕派的基本观念是：从“无限”与“限度”生出数目，由数生几何形体，再由后者生万物。但要解释宇宙整体的存在，则需要更为简单、直接的想法。根据亚里士多德的说法，那基本上是以“无限”为原始的虚空、混沌，甚或是大气，以“1”为最初的“限度”、秩序（借用中国古代观念，把它翻译为“太一”似乎很恰当），这“1”作用于“无限”，亦即以秩序规限“无限”，就形成宇宙（cosmos），即具有秩序的世界。对于这过程他们有更为形象的描述，即是将原始的“1”比喻为种子（seed），又或者认为它先产生了原始的四面体，亦即是火，然后逐步向外扩张、生长。这样，又产生了宇宙在无限之中呼吸，或者“吸入”虚空，从而使物质“分离”的说法——这很有可能是在伊利亚学派的诘难之下，吸取了原子论派的虚空观而产生的概念③。

就最后形成的宇宙结构而言，毕派有个非常奇特和壮丽的构想，即在宇宙中心有个“中央火球”，环绕它运行的最外层是恒星，其内是五大行星，然后依次是日、月、地球，以及最接近火球的“反地球”（counter

---

① Archytus Fr. 1, Freeman 1962.

② *Timaeus* 80AB.

③ Aristotle, *Metaphysics* 1091a12, 1092a32; *Physics* 213b22, 203a6 - 14.

Earth)。这个构想中最令人惊讶的，自然是地球并非居于宇宙中央不动，而被认为也是循环形轨道运行，那也就是第一次清楚提出了地动观念。为什么会有此构想？一个可能的理由是，形成宇宙的原始中心点是前述的“1”，它首先产生了四面体，亦即火，这成为炽热的“中央火球”，它还被冠以宇宙的“火炉”（hearth）、宙斯之守卫营房（the Guardhouse of Zeus）等称谓，因此地球失去了它的特殊位置，变为与行星等同。这拟想的“中央火球”之所以无法从地上得见的解释，则是地球有人居住的一面永远背向火球①。至于凭空造出“反地球”的奇特构想，则似乎是为了将它和恒星、五大行星、日、月、地球九者合起来，以凑足“10”这个圆满数目；但此外还有一种看法，即是“反地球”可以用来解释月蚀，因为那要比日蚀更为频繁。至于“反地球”为什么不能看见的解释，则是它永远居于“中央火球”的另外一面②。

这个奇特而非常之著名的整体构想，似乎并非早期的毕达哥拉斯教派所有，而是费罗莱斯在公元前4世纪初的发明。剑桥的格思里提出不少证据，说明不但早期毕派相信地球中心说，而且到了柏拉图时代被认为是毕派的科学家诸如尤多索斯，当然还有亚里士多德本人，也都坚决相信地球中心说，以下要到一个多世纪之后的阿里斯它喀斯（Aristarchus）才又正式提出日心说来。然而，“中央火球”的观念却也没有完全被放弃：它被移到地球的内部，而且很自然地，与在南意大利特别是西西里岛所习见的火山、温泉等现象的解释结合起来了③。

最后，毕派还有所谓“天球谐乐”之说，从而将他们认为最根本的数目、宇宙结构和音乐三者结合起来，亚里士多德说毕派“整个天

---

① 这些想法无疑已经隐含了大地是球形的观念，而 Guthrie 1962, pp. 293 - 295 则论证，毕派和其他自然哲学家一样，都一直认为大地是圆片或者圆柱状，可能要到费罗莱斯才发展出“地球”观念；柏拉图在 *Phaedo* 110b 第一次将地和“彩球”相比，但是否就意谓地是球形则仍然有争议；首先直接论证地球的确是球状，并且提到它周长的，是亚里士多德，见 *On the Heavens*, 297b14ff。

② *Aristotle*, *On the Heavens* 293a15 - b30。泰勒对此有不同看法，见 Taylor 1958, p. 450，但其观点已经不为一般学者接受。

③ Guthrie 1962, pp. 286 - 291.

(whole heaven) 都是乐音阶律，都是数目"[①]，就是指此。它的基本观念来自毕派的声学：物体移动的时候就会发声，声音的高低视乎速度而定。因此，在他们的构想中，天上迅速运行的星球也同样会发出乐音，由于它们的速度各不相同，所发乐音也高下不同，然而它们却都是和谐的：恒星、五大行星，加上日、月，刚好凑成一个"八度"音阶！这奇特而富有魅力的构想最早出现于柏拉图《国家篇》末篇所描述的灵魂转世过程中所见的天上景象[②]，直接论述则见于亚里士多德的《论天》[③]。亚氏对于这大可以称为"钧天之乐"的观念表示欣赏，但又着力指出其要害：以星球之巨大和运转迅速，它们所发声音应该响亮无匹，有穿云裂石之力，然而人类却绝不曾听闻，那么它也就是不存在的；毕派对此的解释则是它经常充塞宇宙，所以人类久闻惯习而不再有感觉了。无论如何，毕派这个熔冶数学、乐理与天文于一炉的构想对后世学者有极大吸引力，直到文艺复兴仍然历久不衰，甚至17世纪开普勒论行星轨道的著作也都还追承此意，名为《宇宙之和谐》(*The Harmony of the World*)。

六、教派理念与科学传统的建立

上一节论述所根据的，主要是到亚里士多德为止，也就是毕达哥拉斯去世后两百年间的资料，所以比较平实可靠。在亚里士多德之后，毕氏学派沉寂了数百年。然而从公元1世纪开始，受东方宗教思想影响的"新毕达哥拉斯学派"(Neo-Pythagoreans) 兴起，随后更有深受东方魔法渗透的"新柏拉图派"(Neo-Platonics) 继起 (见§6.4－§6.6)，由于这两派学者的推崇和渲染附会，毕达哥拉斯披上了神秘教主色彩，甚至有蜕变为神话人物的倾向。因此这个时期的资料就不那么可靠了：像第欧根尼、波菲

---

① *Metaphysics* 985b25.

② *Republic* X.

③ *On the Heavens* 290b12－291a25.

利和艾安布里喀斯的三部传记，以及普洛克鲁斯的《几何原本第一卷评论》就都需要以怀疑、批判的态度谨慎对待。例如，《评论》保存了大量宝贵数学史资料，但其中所提到毕氏本人的几项重大数学贡献，包括数学抽象研究（这可能是指严格证明）的观念、几何学上的“比例理论”（Theory of Proportions），以及五种正多面体的发现等等①，看来就都缺乏确切证据，对之学者大多存疑。另一方面，由于巴比伦数学陶泥板上有关直角三角形边长关系的数表之发现（§1.5），我们对于毕达哥拉斯是否曾经发现以他命名的定理②，以及是否还有其他具体数学发明，似乎还应当持开放态度。现在我们可以肯定的是，在他背后有足足千年以上的深厚数学传统，他从这个传统到底得到过些什么，自己又增加了些什么，目前是难以确定的。

可是，音乐上三个和谐音程比例的发现，以及在此基础上音乐理论的进一步发展，包括三种比例的发现，无疑都是毕派最迟在费罗莱斯和阿基塔斯的时代就已经作出的贡献。而且，从毕派自始和音乐的密切关系来判断，大部分学者都认为，这些很可能如第欧根尼所说，是毕达哥拉斯本人在单弦琴上所首先发现的奥秘。除此之外，毕派在自然哲学上的多项重大贡献，包括首先提出地动说、地球说，以及地球中心为烈火的观念，还有对于空间（即所谓“虚空”）观念的昌明、推进，等等，也都普遍为学者所承认。

上述许多发明、贡献无疑非常重要，足以令毕氏和他的学派位居希腊众多自然哲学流派最前列。事实上，这也就是一般科学史家对于他们在西方学术传统地位的衡量。然而，那样的定位其实还不十分足够。因为像泰勒斯、巴门尼德、德谟克利特这些哲人所建立的，仅仅是以特定思想、学说见称的哲学门派，其影响颇为有限。毕达哥拉斯所建立的，却是一个组织严密，思想深刻，具有整套人生观、灵魂观、宇宙观的庞大教派。它不但在当时声势浩大，更能够在毕达哥拉斯去世，教派覆灭、式微以后，通

① 见 Proclus 65. 16.

② 见 Proclus 426. 8 – 18.

过杰出的后代传人深刻影响柏拉图及其学园，并且在此前后触发一场决定性的数学革命，由是开创了古希腊乃至整个西方文明的数理科学大传统。这个传统虽然遭逢许多曲折变化，甚至长时期中断，然而它却有极其强韧的生命力，能够在不同地域萌芽、生根、发荣滋长，最后在17世纪经过再一次观念上的大革命而蜕变为现代科学。因此我们一再强调，毕达哥拉斯不但是立言，更加是立功、立德，所以其影响才能够如是之深远不朽。

但诸如几何学与天文学这些困难，高度抽象而又没有明显实际应用价值的智力探索，何以能够捕获柏拉图和他弟子的心灵，并且在学园中成为学术主流呢？事实上，在柏拉图的时代，有许多不同思潮风起云涌于雅典。其中最有势力的，是不承认有任何恒久价值，但以言辞论辩技巧为尚的所谓“智者运动”，他们的口号是“人为一切价值之标准”；至于思想最锋锐、最能吸引年轻人的，则是柏拉图最初的老师苏格拉底，他所关心的是道德与政治。智者和苏格拉底对于抽象的数理天文都毫无兴趣，认为是虚耗精力的不急之务。甚至柏拉图才华出众的大弟子亚里士多德也不好数学——他的哲学偏向于“目的论”，而他雄心勃勃的科学研究则以博物学为主。因此，学园的强大数理传统绝非顺理成章，而是在背离雅典思想风尚，亦即在“逆流而上”的情况下建立起来的。毕派学者何以能够经历一两个世纪之久而仍然不随流俗，维持轻忽现实而究心天外的传统，实在很不寻常，这是需要探究和解释的。

在我们看来，解释就在于毕派所首先发现，而柏拉图所发扬光大的宗教与科学之结合，亦即永生追求与宇宙奥秘探索的相通。这一结合为原始的希腊宗教缔造了一个崭新的，比前远为高超奥妙的境界，同时也为数理天文的探究产生了绝大动力。柏拉图《对话录》中的《国家篇》以教育与政治理想为中心，在最后更以轮回与如何达至永生的描述作结尾，然而它仍然离不开数学与天文学的讨论。《蒂迈欧篇》是一部科学

百科全书，然而它开宗明义①，就讨论造物主（the Demiurge）如何通过理性来缔造世界，如何在混乱中建立秩序；到了结尾，在讨论人类应该如何珍惜、培育自己的灵魂，特别是其最高尚部分的时候，更有以下一段画龙点睛的话："但倘若他对于知识与智慧的热爱是认真的，并且运用心智过于身体其余部分，那么自然就会有神圣和永恒的思想；倘若他获得真理，就必然会得到人性所能够赋予的最充分的永生；因为他永远珍惜神圣的力量，并且保持本身神性的完整，他就将得到无上幸福。"②在这庄严而绝无犹豫，充满宗教情怀的宣言中，我们可以清楚地见到，毕达哥拉斯的理想和柏拉图的天才，如何为西方数理科学的大传统立下稳固不移的长远根基，从而令科学探索得以凭借宗教热诚推动前进。《蒂迈欧篇》是古代欧洲流传最广、源流最长，即使在黑暗时期亦未曾失传的重要经典。它对于新毕派、新柏拉图学派，以及基督教早期教父的影响是无可估量的。通过它以及柏拉图其他篇章所宣扬的思想，科学、宗教、哲学三者乃得以紧密结合，融为一体，成为西方文化学术传统的主流。

当然，我们在此所提出的希腊科学起源观与宗教密切相关，它与西方某些科学史家，例如劳埃德（Lloyd）、法林顿（Farrington）等从政治或者社会状况的立论（见结论第二节）迥然不同。在我们看来，社会政治等外在因素对科学发展虽然可能有强大的促进或者阻滞作用，但发展原动力则必然来自文化本身，而在公元前6世纪的希腊，为人提供了追求永生途径的毕氏教派，显然是一股最强大的宗教与文化力量。

但毕达哥拉斯的理想与柏拉图的天才到底是以何种因缘，通过何种途径而完成这个历史性结合，结合之后又产生了何种变化，何种具体成果呢？这将是下一章的主题。

---

① 当然，这是指该篇开头两段漫长引言之后，即其转入正文之处。

② Plato, *Timaeus* 90C；译文曾经参照 Cornford 1952 的英译，以及《柏拉图全集》有关部分的王晓朝中译。

附录：费罗莱斯的音乐理论

费罗莱斯对于乐音和谐的论述原文如下（其中（a）（b）（c）等编号为作者所加）：“（a）和谐（八度音程）里面有四度音程和五度音程；（b）五度比四度大一个全音；（c）因为从最高弦（作者注：最低音）到中弦是四度，（d）从中弦到最低弦（作者注：最高音）是五度。（e）从最低弦到第三弦是四度，（f）从第三弦到最高弦是五度。（g）中弦与第三弦之间是个全音。（h）四度音程的比例是3∶4；（i）五度音程是2∶3；（j）八度是1∶2。（k）所以和谐（八度音程）包括五个全音和两个半音，（m）五度音程包括三个全音和一个半音，（n）四度音程包括两个全音和一个半音。”① 这段话和古希腊七弦琴的调音以及毕达哥拉斯所发现的三个基本音程密切相关，它的意思可以以表3.1并参照本章有关正文来说明。

此表在第（1）部分给出了五根琴弦相对音频位置的图解。在第（2）部分给出三个基本的和谐音程：（j）相对于低音弦A，A2弦的音高“八度”，长度比A弦是1∶2；（i）E弦比A弦音高“五度”，长度比A弦是2∶3；（h）D弦比A弦音高“四度”，长度比A弦是4∶3。从上述关系，就可以推断所有其他音程：以A弦为共同参照，D和E弦的长度比例显然是 $(3/2)\times(3/4)=9/8$，两者之间的音程就是所谓“全音”（whole tone）②，所以说（b）（g）“五度”比“四度”大一个全音。至于“半音”（semitone）则更为复杂一些：它指把一个“全音”分为相等两半所得到的音程，但这“相等”是指频率比例相等，因此“半音”等于“全音”的平方根，即 $\sqrt{9/8}=3/(2\sqrt{2})\approx1.061$，这和古希腊通用的“半音”值 $256/243\approx1.053$ 相当接近。倘若以后者为准，那么就可以轻易得到表中（k）（m）（n）等三项关系。至于下表第（3）部分则是将费罗莱斯论述每一

① Philolaus Fr. 6, Freeman 1962.

② 在现代的十二音平均律（Twelve-tone Equal Temperament Scale）中，八度音程是以几何级数方式严格均分为12个半音，因此半音的比例值是 $2^{1/12}\approx1.0595$，它和 $256/243\approx1.053$ 相差0.6%；全音比例值是 $2^{1/6}\approx1.123$，它和 $9/8=1.125$ 只相差0.2%。

句的意义以数学重新表达出来。表中各弦的音频是以现代乐音为准。

表 3.1 弦线长度、频率与音程的关系

(1) 五根假设琴弦之相对音频关系					
A（最长的低音弦）	中间弦 D	D#	第三弦 E	A2（最短的高音弦）	
(2) 弦线长度、频率与音程的关系					
本弦线	频率（周/秒）	音 程	相关弦线	长度比例	频率比例
A（最高弦）	440	(j) 八度	A∶A2	2∶1	1∶2
		(d) (i) 五度	A∶E	3∶2	2∶3
D（中间弦）	587	(c) (h) 四度	A∶D	4∶3	3∶4
		(f) 五度	D∶A2	3∶2	2∶3
D#	622	(b) (g) 全音	D∶E	9∶8	8∶9
E（第三弦）	659	半音	D∶D#	256∶243	243∶256
A2（最低弦）	880	(e) 四度	E∶A2	4∶3	3∶4
(3) 费罗莱斯乐音论述的意义					
论述语句所指的音程关系			相应比例值关系		
(a) 八度里面有四度和五度			$2=(4/3)(3/2)$		
(b) (g) 五度比四度大一个全音			$(3/2)/(4/3)=9/8$		
(k) 八度 =5 个全音 +2 个半音			$2=(9/8)^5(256/243)^2$		
(m) 五度 =3 个全音 +1 个半音			$3/2=(9/8)^3(256/243)$		
(n) 四度 =2 个全音 +1 个半音			$4/3=(9/8)^2(256/243)$		

从以上的分析可见，到了费罗莱斯的时代，毕派学者不但对于“八度”“五度”“四度”等三个基本音程，及其相关的弦线长度比例有充分的认识，而且也能够由之而计算音程的结合和分解，从而提出“全音”和“半音”的量化概念，并且用以衡量上述三个基本音程。这也就是说，当时的古希腊音乐理论已经牢牢地建立在数学基础之上了。

第四章　西方科学第一场革命

公元前5世纪毕达哥拉斯教派兴起于南意大利，公元前3世纪希腊科学开花结果于亚历山大城，西方科学第一场革命，则在居间的公元前4世纪发生于雅典。这我们称之为“革命”的巨变表现为数学，特别是几何学的飞跃进步，进步关键则在于严格证明观念之萌生，以及严格证明方法之发现。正是因为有了这种观念与方法，数学才获得前所未有的稳固与宽广基础，才可以在此基础上不断发展与进步，并且顺理成章地应用到天文现象上去，掀起相同性质的天文学革命。这也就是亚历山大光辉灿烂科学传统的由来。这场革命到底是如何发生的呢？虽然我们没有足够资料来描绘这个过程的细节，但其大体轮廓还是可以通过传世文献的考证而重建。

这场科学革命之出现是基于难得的历史机缘：毕达哥拉斯教派在南意大利覆灭，它的徒众四散，部分迁徙到希腊本土；在此之后不久哲人苏格拉底被处死，他的学生柏拉图大受打击，这位雅典最杰出的世家子弟从现实政治转向思辨哲学，从而与毕派学者深相结交，由是触发他开办“学园”并接受毕派理念，特别是对数学之极端重视，这又转而影响其巨著《对话录》。学园是个松散、开放的学者组织，它不立门户，不讲究教条、师承，其中人物十方辐凑，不拘一格；《对话录》的思想、论述更是汪洋大海，包罗万象。在此自由、开放，亦复充满热烈气氛与竞争的环境中，在公元前5世纪露出端倪的新数学迅速发展，终于在公元前4世纪中叶成熟，其后为欧几里德编纂成《几何原本》，那也就是亚历山大科学传统的源头。本章所要论述的，就是上述融合与革命历程，它大致上可以分为三

个部分：毕氏教派核心组织覆灭以后的传承、柏拉图思想与事业的发展，以及发生于学园成立前后的数学与天文学革命。

一、毕氏教派的传承

西方学术大传统的形成是从柏拉图开始的，柏拉图一生做了两件大事，即是创办学园和撰写《对话录》。这两件事情都与毕达哥拉斯教派有关。毕氏教派覆灭和柏拉图开始讲学前后相距大半个世纪（公元前460—前399），在其间我们所知与毕派传承有关的重要学者、门徒共有五人，即早辈门徒希帕苏斯（Hippasus）、教派覆灭时能够脱困的阿基柏斯（Archippus）和莱西斯（Lysis）、由莱西斯教育成人的费罗莱斯，以及费氏弟子同时也是柏拉图好友的阿基塔斯①。除此之外，艾安布里喀斯的毕氏传记一共还列出了两百多位不同时代的毕派门徒名字，其中包括像恩培多克勒、巴门尼德、特奥多鲁斯等著名哲学家、数学家，以及上一章提到过的尤里图斯，但绝大部分都是不见经传而无法进一步考据者，其事迹、影响也完全湮没了②。因此，我们必须从以上五人入手，来追寻毕氏教派思想传递给柏拉图和学园的线索。

生死攸关的奥秘

公元前5世纪中期的希帕苏斯（Hippasus of Metapontium，约公元前500—前440）是位极富争议的谜样人物，其事迹复杂而充满不确定性③。他辈分颇高，就年代而言，颇有可能见过毕达哥拉斯本人。他似乎曾经有反叛行为，例如向外界透露教派秘密，或者自立门户与毕达哥拉斯竞争，宣称种种重要数学发现为自己而非毕氏所作，因而导致教派中“聆听众”

---

① 有关这五人的事迹的原始资料，主要见 Freeman 1959 的有关篇章；此外 Knorr 1975 首两章对于他们的思想、贡献，以及彼此之间关系有详细论述，这在下文还将提到。

② 见 K. S. Guthrie 1987，pp. 120 – 122。

③ 希帕苏斯的事迹综述与讨论见 Guthrie 1962，pp. 120 – 122；Freeman 1959，pp. 84 – 87；Burkert 1972（散见书中各处，特别是 pp. 206 – 208 的讨论）；以及 Kahn 2001，p. 35。

与“习数众”两派的分裂，这甚至可能成为教派受到塞隆之徒攻击和最后覆灭的导火线。为此种种，相传同门曾经将他驱逐出教，并为之树立墓碑，视为等同死亡；另有一说，则他是被抛到海里处死。这些分歧传说显示，导致教派在经受沉重打击之后分裂，甚或竟在其前，其内部就已经陷入严重分裂而产生危机的，是某种数学奥秘的泄漏。这奥秘很可能就是正方形的边与对角线两者“不可测比”（incommensurable）。这发现被视为生死交关，足见其受重视的程度，因此柏拉图在《美诺篇》（*Meno*）用了颇长篇幅讨论它。论述学园数学的当代专著亦都极其重视《美诺篇》有关此发现的段落①。

存亡继绝

对于阿基柏斯（Archippus）和莱西斯（Lysis）两人我们所知者仅限于：他们年轻力壮，所以在教派遭遇火攻的时候能够脱困；此后阿基柏斯逃往故城塔伦同（Tarentum），莱西斯则逃往希腊本土的底比斯（Thebes），并且将费罗莱斯抚养成人，从而为毕派保存了命脉。后来把毕氏学说、思想“传授”或者“引荐”给柏拉图，从而使之发扬光大的关键人物，就是费罗莱斯和他的弟子阿基塔斯，前者与苏格拉底同时，后者则与柏拉图同时。底比斯和雅典以及迈加拉（Megara，这是柏拉图在苏格拉底被处死后躲避风头之处）都相近，距离只五六十公里之遥，因此柏拉图有可能在访问西西里岛之前就已经认识散居在底比斯一带的毕派门徒，对他们的教义、哲学获得了初步了解。

教派秘籍外传

费罗莱斯（Philolaus，约公元前470—前390）② 本是毕派发源地克罗顿地方人，大致和苏格拉底同时，他似乎具有毕派最后一位长老的地位，并且有好些弟子：这除了尤里图斯和阿基塔斯以外，还包括《斐多篇》

---

① *Meno* 82ff；着重讨论此段落的，例如 Knorr 1975 和 Fowler 1999 这两本专著。

② 有关费罗莱斯事迹及著作的详细讨论，见 Huffman 1993，pp. 1 – 16；其论著及学说见上一章。

(*Phaedo*)中所直接提到的两个年轻人，即西米亚斯（Simmias）和克贝斯(Cebes)，他们详细描述了苏格拉底临终的对话。该篇假借苏格拉底之口所讨论的问题，例如为什么不应该自杀、记忆的意义和重要性、灵魂不灭的证据、轮回的历程和意义，等等，都是毕氏教义的核心。这显示，通过费罗莱斯和他的弟子，毕氏学说在宇宙论和灵魂学两方面对柏拉图产生了重大的影响。

有种种迹象显示，柏拉图初次访问西西里时（公元前387）就开始和费罗莱斯与阿基塔斯师徒二人交往，而且这历史性接触很可能就是导致柏拉图决意建立学园以及《对话录》风格发生基本转变这两件事情的关键。柏拉图在晚年第二度访问西西里时（公元前365）有另一个大收获：根据第欧根尼的记载，他此行得到了费罗莱斯的书——这可能是用重金向其亲戚购买，也可能是费罗莱斯为了感激柏拉图帮助他的门徒出狱而赠送①。根据布尔克特和赫夫曼的考证，这应该是费罗莱斯所撰，也是毕派有感于他们历代相传的学问有可能失传而写下来的第一本著作，名称是《论自然》(*On Nature*)，它在亚里士多德的时代仍然可见，其中相当部分，包括对于乐理的论述，至今还留存在费罗莱斯残篇中②。现在大部分学者都接受，《对话录》里面详细讨论宇宙、人体，以及灵魂的《蒂迈欧篇》(*Timaeus*) 其内容就是得自该书——甚至有一说法，其整篇都是原原本本从该书抄袭过来的③。无论如何，这是《对话录》中科学成分最重要的一篇，也是西欧历经中古黑暗时期而始终没有遗失过的重要经典，对后世影响特别大。因此，毕氏学说的大部分，包括对于数为万物本源的观念、宇宙论、乐论，等等，都是通过费罗莱斯而传授给柏拉图的。

哲王典型

至于和柏拉图几乎同年的阿基塔斯（Archytas of Tarentum，约公元前

---

① Diogenes 1965, VIII. 85.

② Philolaus Fr. 1 – 16, Freeman 1959, pp. 73 – 77; Freeman 1959, pp. 220 – 232.

③ 见 Cornford 1952；此外 Kahn 2001, Taylor 1958, Huffman 1993 都接受这源自第欧根尼传记的说法。但这最多只是指该篇主要部分而言，其他部分则不可能与毕派有关，此点见下文的讨论。

428—前350）则是赫赫有名的乐理学家和数学家，对几何三大难题之一，即倍立方问题有重大贡献，又是塔伦同城名重一时的政治、军事领袖，不但广受民众爱戴，而且曾经打破成例，七度出任军事统领，在疆场上战无不胜。他和柏拉图有深交：后者冒极大风险第三度赴叙拉古会见僭主狄奥尼西二世（Dionysius II），就很可能与阿基塔斯的支持、劝说有关，后来在被扣留甚至可能被杀害的危急关头，也还是阿基塔斯派遣舰队救了他性命①。柏拉图晚年撰写的《蒂迈欧篇》一反《对话录》惯例，不再以苏格拉底为主角，实质上也不再采取对话形式——它基本上是一篇论述，而主讲者蒂迈欧不见经传，却被形容为意大利南部洛克里城（Locri）德高望重的政治元老，因此许多人认为，他就是阿基塔斯的化身。此外，《国家篇》（*The Republic*）里面有著名的所谓“哲王”（Philosopher King），即集精研数理天文的哲学家与人品高尚的政治领袖于一身者，那很可能也是以他为原型。除此之外，他有一位弟子门纳木（Menaechmus）也是学园成员。因此这位毕派嫡系传人对于柏拉图及其学园的影响也同样深广。比之注重宇宙整体的费罗莱斯，他是一位学者政治家，其影响除了数学、音乐和声学以外，可能还有关乎学园之建立、发展和人才延揽等实际方面，但这些已经无从稽考了。

二、柏拉图的思想历程

希腊哲学传统的建立是从柏拉图（Plato，公元前427—前347）开始的。他是一位承先启后，综汇百代的人物：各流派的自然哲学、苏格拉底的道德追求，当然还有毕派的宗教意识与数理向往，以及对“智者运动”的驳斥，都在《对话录》中有充分和深入反映。自亚里士多德和欧几里德以降的西方学术各流派分支，也都是从学园开出。然而，家世显赫、才华过人的青年柏拉图，本来是依循雅典高门子弟的传统，有意以政治家伯里克利（Pericles）为楷模，在政治上建功立业的。他的老师苏格拉底

① Freeman 1962, pp. 78 – 81, 233 – 239.

(Socrates，公元前469—前399）之死改变了他的命运，令他放弃从政初衷，决定以思辨、学术，探索和追求理念的永恒国度为终身职志。这不但是他个人的基本转变，更是希腊文明的大转折——即其思辨、爱智精神从周边进入核心，然后逐渐成为思想主流的转折。这是个漫长历程，它其实开始于阿那克萨戈拉来到雅典，而其完成则要到亚里士多德的吕克昂学堂传统建立，前后达一个半世纪之久（约公元前465—前300)，柏拉图正是处于这个时期当中的枢纽人物。

雅典世家英才

柏拉图出身雅典世家，父亲阿里斯顿（Ariston）相传是雅典古代（约公元前8世纪）最后一位君王科德鲁斯（Codrus）的苗裔，母亲佩理提翁尼（Perictione）则是雅典宪章之父梭伦（Solon，约公元前638—前559）的侄曾孙之女。他的母家在政治上十分活跃：亲舅父卡米德(Charmides）和克里特雅斯（Critias）曾经出任雅典的“三十人执政团”(The Thirty Tyrants)，后父（原是外叔祖，亦即母亲的叔父）皮里兰佩(Pyrilampes）曾经出使波斯和其他西亚诸国。而且，他显然对于自己的显赫家族相当自豪：如所周知，《对话录》基本以苏格拉底为主角，他自己几乎从不出现，然而他的两位兄长格劳孔（Glaucon）和阿德曼图斯(Adeimantus)，他上述两位舅父，他的同母异父兄弟安提芳（Antiphon)，以及母家其他上辈亲戚，却在书中多处扮演不同角色出现。例如，苏格拉底在《对话录》卷首的《卡米德篇》中所作的开场白，便无异于柏拉图母系家族的介绍；而安提芳则被安排为《巴门尼德篇》的主角①。

柏拉图的出生与成长正值雅典与斯巴达之间发生互争雄长的伯尼奔罗撒战争（Peloponnesian War，公元前431—前404)，那是政治上的“火红年代”。所以，毫不奇怪，他景仰逝世未久的雄辩家与政坛伟人伯里克利(Pericles，公元前495—前429)，在两位舅父怂恿下，更颇有步入政途，成就一番功业的雄心。事实上，他青少年时代所受的教育包括竞技、绘

① 有关柏拉图的家世，见 Guthrie 1962 - 1981，iv，pp. 10 - 12。

画、诗歌、文学，等等，和当时一般世家子弟并没有大分别；传说他还曾经参加摔跤比赛。在此阶段，他的心态是入世的，其向往在于社会、政治，以“荣誉”为最高目标。然而，雅典在伯尼奔罗撒战争中彻底失败之后，其政治充满斗争、暴力、虚伪和党同伐异，无论是与斯巴达占领军合作的寡头政团，即所谓“三十人执政团”，或者推翻之而继起的民众政体（Democracy），都缺乏他所期望的理性、公平和正义精神，从政之心遂大受打击。在战败与内战所产生的狂热、暴戾气氛中，他自幼认识和敬爱、佩服的老师苏格拉底，由于其独立言论和思想而被敌人控告不敬神祇，最后更遭受公开审判和处死（公元前399），他痛心疾首之余，很自然地自己也感到恐惧不安。

生命转折点

对苏格拉底的盲目攻击反映了民众对于战败的困扰、烦躁，并且由是发展为对贵族阶层以及其标新立异、违反传统做法的敌意。当时还未及壮年的柏拉图也属于这一精英阶层，而且和“三十人执政团”有千丝万缕关系。所以，苏格拉底之死不但令他对政治的理想、期待彻底幻灭，而且大概对自己的安全也深感威胁。在此情况下，他离开雅典，到附近的迈加拉（Megara）暂时躲避风头；在其后漫长的12年期间（公元前399—前387），据说又曾经到北非昔兰尼、意大利和埃及等地游历。不过，这是颇有争议的：有人认为海外游历云云只是其传记作者依循惯例的说法，其实当时他根本没有离开希腊；但多数学者对此则宁愿采取存疑态度。较少争议的是，这时期是他哲学生涯的起点：《对话录》中以苏格拉底的自辩及其道德探究为中心的所谓“早期篇章”，诸如《自辩篇》、《卡米德篇》、《欧绪弗洛篇》乃至《普罗泰戈拉篇》等等，都是此期作品。

苏格拉底之死使柏拉图从现实政治转向哲理思辨，但决定他哲学发展大方向的，却并非他老师苏格拉底的道德探索，而是毕达哥拉斯教派的形而上学和宇宙观。这个具有历史性意义的大转折之所以会出现，在于他三访西西里岛时所受毕派的深刻影响。

西西里之旅

柏拉图一生事迹都不很清楚，比较可以确定的是他三赴西西里岛之旅，这在他所留下的书信中有颇为详细的记载①。由是我们知道，他在离开雅典时期之末亦即四十之年（公元前 387）曾经前赴西西里岛的叙拉古，其后回到雅典，随即购买城外一块林地，创办学园。不少学者认为，他此行目的就是为了结识意大利南部的毕达哥拉斯派学者，特别是塔伦同城名重一时的阿基塔斯②。倘若的确如此，那么这次旅程显然是经过相当酝酿和准备的，也就是说，他很可能在行前就已经与毕派学者有不少接触往还，甚至办学园的创举也并非心血来潮之举，而是与毕派朋友反复商讨筹划的结果。无论如何，有两点是肯定的：他与毕派的密切接触不晚于学园的创办，而学园的发展方向是完全以毕派的“四艺”为依归。不但如此，而且，正如下文论证，他从这时候开始撰写《对话录》之中的“中期篇章”（Middle Dialogues），诸如《斐多篇》、《国家篇》、《斐德罗篇》，等等，其论调、思想也开始脱离苏格拉底的现世道德诉求和“我只知道我无知”的怀疑态度，而染上浓厚的毕派思想色彩，即是对于来世、永生、自然的强烈兴趣和深入探究③。因此，我们很有理由相信，已经失去根据地的毕派学者与代表雅典世家青年才俊的柏拉图之交往、结合，开始于公元前 4 世纪初期，即公元前 390—前 380 年间。在其后 20 年（公元前 387—前 367），学园和柏拉图本人的学术思想，便自“人间社会”转向了宇宙奥秘及永恒生命的探究。

在上述第一次西西里旅程中，柏拉图还结识了西西里和南意大利的僭主亦复是霸主狄奥尼西一世（Dionysius I），并且深深地倾倒于他的小舅

---

① 他留下了 13 封书信，这些书信的真伪曾经引起争论，但除了第一和第十二封以外，现在已经全部被接受为真。见 Taylor 1958，pp. 15 - 16。

② 例如见 Guthrie 1962 - 1981，iv，pp. 17 - 19；以下有关柏拉图事迹以及所受学术影响的论述，见该书同一章。

③ 这方面的详细论证，见 Terry Penner，“Socrates and the early dialogues”，in Kraut 1992，pp. 121 - 169，并见同书 pp. 68 - 73；又见 Kahn 2001，pp. 39 - 45。

子（同时也是女婿）狄翁（Dion），一位年方弱冠的聪颖、俊美少年，两人由是深相结好。这对于柏拉图个人而言是头等大事，因为在二十多年后（公元前365）他就是应狄翁的要求而二度赴西西里，企图影响刚刚接掌父位的狄奥尼西二世（Dionysius II），引导他走向“哲王”的方向。为了种种不难想象的原因，这努力彻底失败了，然而此行却有另一个重要成果，那就是他得到了费罗莱斯所撰写的第一部毕派著作《论自然》。如前面已经提到的，这成为他晚年最重要，也是身后最有影响力的宇宙论和科学著作《蒂迈欧篇》的基础。四年之后（公元前361），在众多雅典和南意大利友人，特别是狄翁的一再恳求下，柏拉图“怀着惴惴不安的心情”第三次赴西西里，再次试图和狄奥尼西二世合作。然而，这次失败更甚，倘若不是阿基塔斯及时派出使团乘船相救，他恐怕不免于难。这样，柏拉图责勉自己应当坐言起行，将“哲王”的理想付诸实施的试验也终于结束了。这三次西西里之旅，是我们所知有关柏拉图极少数事迹中的最确切者，而它们一无例外都和毕派人物、学说密切相关。

三、从教派到柏拉图学园

柏拉图对西方学术思想的深远影响是通过《对话录》和“学园”两者而产生，这两者有一个共同点，就是对数学的极端重视。这里所谓数学，是泛指算术、几何、天文、乐理等“四艺”，也就是以数学为核心的数理科学。除此之外，《对话录》还充满了对灵魂、前世、记忆、永生、天神等的讨论。因此，柏拉图所建立的西方学术传统，是以科学与宗教两者为核心，而很显然，他的这个大方向是从毕达哥拉斯教派那里承接过来的[①]。当然，在他以后的西方学术还有发展与变化，最明显的是由亚里士多德推动的生物科学之兴起，以及以社会、人生关怀为中心的伊壁鸠鲁、斯多葛等哲学流派之出现。但这些变化对他所立下的基本格局并无大影响，而只是使得其内容更为丰富而已。

---

① 这点的详细论证，见 Kahn 2001，Ch. 2；Dillon 2003，pp. 16－29 的论述也表达了相同见解。

《对话录》的思想渊源

《对话录》的成书过程一直是学者研究的焦点，但争论很多，细节迄无定论。现在可以为多数学者接受的看法是：它的撰写历时很长，纵贯柏拉图的壮年以迄老年，而且思想、笔触、布局一直有变化，由之可以推断，其篇章大致分为三期：前期（公元前399—前385）写成于壮年，即苏格拉底受难之后以至初赴西西里的十多年间，题材以道德关怀为主，思想受苏格拉底影响颇深；中期（公元前385—前360）是学园成立之后二十余年的作品，它们包括《斐多篇》（*Phaedo*）、《高尔吉亚篇》（*Gorgias*）、《美诺篇》（*Meno*）、《斐德罗篇》（*Phaedrus*）、《国家篇》（*Republic*）、《泰阿泰德篇》（*Theaetetus*）诸篇，其中有大量毕氏学说，特别是其宇宙论、乐论、灵魂说、记忆说、轮回说散布各篇之中，毕派人物在各篇中也屡见不鲜。至于晚期（公元前360—前347）则是他第三次访西西里归来以后的作品，其时他已经得到费罗莱斯的著作了。此期最重要的是《蒂迈欧篇》（*Timaeus*）、《斐莱布篇》（*Philebus*）、《法律篇》（*Laws*）诸篇，它们所显示的，是思想之日趋成熟和定型，但笔触亦渐渐失去丰富变化与戏剧性，而只以发扬思想奥义为主，不复顾及其场景与文学性了。

中后期《对话录》诸篇不但包含大量与毕派学说相近的内容，而且还有不少直接或间接提及毕派之处，所以被认为具有明显“毕派风尚”（Pythagoreanising）。特别是，在同辈哲学家诸如赫拉克利特和色诺芬口中，毕达哥拉斯只不过是位神奇、头脑发热，乃至有点滑稽的教主。但到了柏拉图笔下，毕氏及其门徒就变为备受敬重的前辈了。例如，《国家篇》将算术、几何、天文、音律等并列，称之为“姊妹科学，正如毕派学者所宣称，而我们所赞同的”。虽然《对话录》直接提到毕达哥拉斯本人只有一次，即《国家篇》指他是受尊敬的导师和文化教育领袖，“其追随者至今仍然以其被称为毕派的生活方式著称”，然而提到费罗莱斯、“意大利学者”，或者“比我们更接近诸神的先哲”之处则颇为不少。其中《斐莱布篇》的下面一段话尤其重要，可以说是画龙点睛之言：“诸神借着一位新普罗米修斯之手，将一件有光芒伴随的天赐礼物送到人间；比

我们更贤明也更接近诸神的古人相传，万物都是由一与多组成，而且也必然包含了有限与无限。”① 这段话清楚地表达了柏拉图对于毕派的亲近和敬仰，又直接征引了费罗莱斯残篇所阐述的万物组成原理；至于其中所称道的“新普罗米修斯”，一般学者认为，只能够是指毕达哥拉斯本人。也就是说，在柏拉图眼中，毕氏在探究宇宙奥秘的诸多发现，是可以和普罗米修斯为人类偷来火种之功相提并论的。

当然，在《对话录》中毕派色彩最重、也最明显的是末期作品《蒂迈欧篇》，它以宇宙建构为主题，而且被认为是从费罗莱斯的书衍生出来，甚至是全部抄袭的——但此说法恐怕过分，因为它虽然主要反映毕派的宇宙论（见§3.5），但同时也包含大量毕派以外的自然哲学，例如爱利亚学派的“圆球”和恩培多克勒的“四元素”，此外还有关于人体结构和生理的讨论②。无论如何，此篇内容、文笔和布局非常独特：它表面上仍然采用对话形式，实质上却是长篇论述，甚至可以视为具有严谨结构的论文，而“宣读”论文的则是蒂迈欧这位历史上绝无痕迹的虚构主角，一位具有广泛和深湛、近乎百科全书式知识的南意大利政治元老。如上文所说，他普遍被认为就是阿基塔斯的化身。

换而言之，我们虽然没有直接证据，却有大量旁证显示，柏拉图思想的基本改变，即从入世的道德与政治关怀，转向以数学、形而上学、宇宙论、灵魂、来生等精神与理论性关怀，是和毕氏学派的熏染、启发乃至直接传授有关③。而且，不但学园的灵感乃至组织模式很可能是得自毕氏教派，他晚年冒生命危险赴叙拉古干政，颇有坐言起行，把《国家篇》的理想付诸实施之意，那可能也是见贤思齐，出于像毕达哥拉斯那样建立实际政治影响力的雄心④——毕竟，说到底，毕氏本人（而并非他的徒孙阿基塔斯）才是“哲王”的真正原型！从这个角度看来，我们既可以说覆

---

① 分别见 *Republic* 530d & 600a；*Philebus* 16c。

② 关于此篇的专门研究，见 Cornford 1952 以及 Taylor 1958，Ch. 17。

③ 见 Kahn 2001，Ch. 2，该章还详细分析了 Burkert 和 Huffman 的论点，即柏拉图学派所承受的数学哲学是来自费劳拉斯而非毕氏学派，并指出这可能性不大。

④ 关于此点，参见 Kahn 2001，pp. 3－4，49－62。

灭后的毕派学者蜕变为柏拉图学园的中坚分子，也可以视柏拉图学派为毕派在精神上的“托孤”和“再生”。这一关系之密切，可以从以下四代毕派学者与柏拉图的关系得到印证：费罗莱斯是柏拉图所尊敬并且从之得到传授的前辈；阿基塔斯是他的挚友和救命恩人；阿基塔斯的弟子尤多索斯（Eudoxus）是公元前4世纪最重要的数学家，他和学园的关系虽然若即若离，却有两名弟子门纳木和狄诺斯特拉图斯（Dinostratus）在学园之中。因此，毕氏学派一方面通过它的思想，特别是宗教与哲学，另一方面则通过它的杰出学者，特别是数学家，而深深影响柏拉图及其学派。这两者的历史性融合，是西方科学、哲学和宗教三者在最深层次交互作用，共同形成学术大传统的开端。

学园：开放性的学者聚会

学园的重要不仅仅在于它是柏拉图讲学之地，甚至也不在于他博学多才的大弟子亚里士多德在彼流连了20年之久——虽然这两位开山大宗师无疑都极其重要，而还在于它的性质、学风、发展方向和逐步建立起来的传统。学园到底是怎么样的组织，文献并无记载，但从当时的喜剧和其他资料也可以得到一个大概的观念①。它显示学园和同时的“智者”，例如伊索克拉特（Isocrates）所开办的论辩学校大不相同：它并非以传授知识为主的学院，而毋宁更接近于一群有相当独立思考能力，地位也大体平等的学者的松散和非正式聚会（称之为“机构”或者“组织”似乎都不大适当），其目的在于共同研讨、论难，但也不排除对年轻学者的教导。在其初，学园可能并无房舍，所谓“*Academy*”，实在是雅典城外纪念一位英雄 Hekademos 的公园，那里有健身房（*gymnasion*），有林地和散步小径，但都是公众场所。柏拉图所购置的私人物业只可能是其旁侧带有小花园的房屋，其后他又在附近建了一所缪斯神庙（*mouseion*）。但这房舍面积不大，大概仅可用作私人居住、进餐、休憩之用，因此学园的活动必然

---

① 见 Cherniss 1980，pp. 65 - 85；Fowler 1999 以及其中征引的文献。

有相当部分是在 *Academy* 公园中公开进行①。至于柏拉图在这“学园”中所发挥的作用，则应当是推动、鼓励、评论、劝导，更多于讲授、教导、示范。甚至，他本人是否能够完全了解、掌握学园中研究、发现的那些高深数学成果，学者也还没有一致意见。但这并不很重要，重要的是他树立了辩析论难的学风，并且影响研讨工作的主要方向②。无论如何，在学园中“发现新知”和“商量旧学”最少具有同等重要性，这可以说是它的科学精神或者西方“重智”精神的体现（图版 7）。

学园的研讨工作以数学为主，而并非柏拉图本人最感兴趣的理念哲学。最直接的证据自然是我们所提到过的，柏拉图在学园门楣上刻凿了“不习几何学者不得入此门”那样的警句，虽然这只是传说而并无确切记载，但无疑反映后人对学园和柏拉图的看法③。当然，在柏拉图的弟子中，亚里士多德才略过人，但明显不喜好数学。不过，学园研讨的主要方向也不可能是亚氏所喜好的博物学、物理学、形而上学，等等，因为柏拉图逝世以后，接掌“园长”的并非亚氏，而是柏拉图的侄儿斯彪西波（Speusipus）。在园中数学重要性的更直接和重要证据，来自《国家篇》和《法律篇》。这些篇章在论及如何训练人的心智，以培养将负担执政大任的“哲王”时提出，国家未来执政者在 20 至 30 岁之间这段关键时期，应当研习广义的数学，即算术、平面几何、立体几何、天文学，以及乐理；而且，这五个部分被认为并非独立，而是互相关联，能够促进清晰、有条理的思考，是一方面可以通往宇宙奥秘，另一方面可以作为制定与施行法律者的思想训练的④。此外，如下文所征引，普洛克鲁斯对柏拉图在数学上的推动、引导之功也有详细描述。

学园除了开放性的研讨学风和以数学为根本这两点之外，还有一个很

---

① Dillon 2003，pp. 1 – 16 对于学园的房舍和性质有详细讨论。

② 奈格包尔对柏拉图在数学发展上的作用持非常怀疑的态度，认为“显然柏拉图的角色被过分夸大了”，见 Neugebauer 1969，p. 152。但他这看法主要只是针对柏拉图是否有具体数学发现而言。

③ Fowler 1999，pp. 202 – 204.

④ Ian Mueller，“Mathematical method and philosophical truth”，in Kraut 1992，pp. 170 – 199；以及 *Republic* VII 521c – 531c。

重要的特征，那就是它的延续性。传统说法是：学园从公元前385年左右创办，以后历代相传，延续不替，以迄公元529年被查士丁尼大帝封闭为止，前后历时将近千年之久。不过，这并不确切：学园在第一阶段可能只延续了300年，即至公元前1世纪园主费罗（Philo of Larissa）的时期为止，然后在公元2世纪有过短暂复兴，以迄5—6世纪间才再迎来长达百年的最后兴旺时期①。不过，即使它真正的历史前后只有400年左右，也无论它的性质在柏拉图过去之后不久已经改变，从活跃的数学研究所变为有宗派色彩的哲学讲习所，然后在公元前3世纪再演变为怀疑论派大本营，它还是为西方学术奠定了一种风范，一个规模，这影响到后来的吕克昂学堂、亚历山大“学宫”，以及巴格达“智慧宫”，因为无论在理念、制度或者学术重心上，它们都是有意识地以学园为模范的。当然，就西方科学而言，学园的真正重要性是在它的最初百年，也就是它在数学上最为活跃的时期。

毕派学者的消融

毕达哥拉斯教派的核心组织在公元前465年左右被摧毁，因此有大量徒众散布到南意大利各地以及希腊本土底比斯附近。半个世纪之后，如上面所论证，他们有部分和柏拉图交往密切，在公元前387—前360年间先后被吸收到学园中，成为推动数学革命的中坚分子。但这样，他们的历史使命就可以说是完成，他们这一群体到公元前4世纪末也就逐渐消失了。这过程大抵可以作如下推测②。首先，在毕派遭受沉重打击之后，失去中央组织的教徒形成具有不同倾向的“聆听众”和“习数众”两派，“聆听众”比较注重教义、教规与信仰，“习数众”则注重宇宙奥秘的探究，但彼此还可以相安。情况起变化是在亚里士多德的时代，当时两派开始积不相容，彼此攻击。“聆听众”逐渐变为以贫苦、修行、持守特殊戒律、仰

---

① Fowler 1999, pp. 200－201.

② 关于“聆听众”和“习数众”的问题（包括其逐渐消失的过程），见下列详细讨论：Burkert 1972, pp. 166－208；关于毕派与学园的融合过程，以及亚里士多塞诺斯对毕派观点的问题，见 Kahn 2001, pp. 63－71。

望来生的宗教团体，在希腊“中期喜剧”中被形容为奇装异服、污糟邋遢不堪，被嘲讽为塔伦同帮（*Tarentini*）、毕氏徒众（*Pythagorizusa*），等等。秉承“习数众”传统的亚氏弟子对这成为笑柄的“旁支”自然不能认同，要划清界线。例如亚氏弟子和乐理学家，同时也是毕派弟子的亚里士多塞诺斯（Aristoxenus of Tarentum，约公元前4世纪）就偏激地宣称，毕派绝对没有素食或者不杀生的习惯，甚至特别强调他们喜爱豆类。然而，即使是以“习数众”自居者，应当还是具有宗教信仰并且奉行洁净仪式的。但到了公元前4世纪末，毕氏弟子群体就消失了：“习数众”和科学、数学传统消融于学园与吕克昂学者群体中，“聆听众”和苦修、素食、轮回信仰传统则并入犬儒学派（Cynics）。当然，从长远看，则毕派只不过是潜入和蛰伏在希腊宗教意识底层而已，此后还将以“新毕氏学派”和“新柏拉图学派”的形式复活和传播。

四、新普罗米修斯革命

毕氏学派与柏拉图学园的结合导致了西方第一次科学革命，那可以很恰当地借用柏拉图对毕达哥拉斯的美誉，称之为“新普罗米修斯革命”。正如17世纪的现代科学革命可以用它的成果，即是牛顿的《自然哲学之数学原理》来概括，同样，这第一次科学革命也可以用它的成果，即欧几里德的《几何原本》来概括。所迥然不同的是，《几何原本》已经是古希腊流传下来的完整科学著作中之最早者，因此要追寻它在公元前4世纪出现的经过，也就是这次革命的历程，只能够从相当有限的资料入手①。

雅典时期的科学史料残缺不全，这在上一章已经讨论过，它大致包括以下几部分。首先，柏拉图是天马行空的哲学家，喜欢用神话、寓言来表达哲思，但《对话录》也包括不少科学论述，这些最早期、也是最可靠的科学史料有：《美诺篇》有关正方形之边与对角线不可测比的讨论；《泰阿泰德篇》有关非平方数之与整数不可测比的讨论；以及《蒂迈欧

---

① 奥托吕科斯（Autolychus）的《球面论》大致同时，也有可能更早，但重要性相去甚远。

篇》有关天文、数学、乐理和其他科学知识的讨论，包括日月星辰的运动，以及五种正多面体的建构，等等①。其次，亚里士多德是具有强烈历史意识的科学家，他的众多著作之中不但有大量科学论述，而且对于"前苏格拉底"自然哲学家和毕派学者的学说也有记载，§3.5(2) 的引文就是显著例子②。非常可惜的是，他自己的毕达哥拉斯传以及弟子尤德姆斯在他鼓励之下所撰写的《算术史》、《几何学史》、《天文学史》等三部科学史专著都没有能够流传下来。不过《几何学史》与《天文学史》一直到罗马帝国后期，即公元5—6世纪才失传，因此在泊布斯、普洛克鲁斯、辛普里修斯等以及其他更后期学者的著作、评论、注释中被大量引用，留存了不少宝贵片段③。我们今日对于欧几里德以前的希腊科学还能够知道一个大概，所依赖的除了柏拉图和亚氏著作之外，主要就靠这些经过多次转引的资料了④。

从危机到革命

革命往往是由严重冲突所产生的危机引起，政治革命如是，17 世纪和 20 世纪初的科学革命如是，公元前 4 世纪的新普罗米修斯革命也不例外。引起这次革命的重大危机很可能就是"不可测比"量即无理数在公元前 5 世纪的发现，它显明了几何学严格证题之必要，由是导致特奥多鲁斯（Theodorus）和泰阿泰德（Theaetetus）对无理数的研究，以及尤多索斯的比例理论和归谬法之发明，《几何原本》中长篇大论，巨细靡遗地论述无理数的第十章，即是此危机备受重视与得到消解的见证。换而言之，

---

① 见 Plato，*Meno* 82b－85b；*Theaetetus* 147c－148b；以及 *Timaeus* 中有关篇幅。

② 主要见其 *Categories*，*Physics*，*Metaphysics*，*On Heavens*，*On the Soul* 诸书有关段落。

③ 见 Pappus/Jones 1986；Proclus/Morrow 1970；辛普里修斯对亚里士多德著作的评论也都已经翻译出版，详见第 301 页注。

④ 除了原始资料以外，本节主要参考下列综合论述：（1）Heath 1965，i，Ch. 3－10，此书素材丰富，而且对于史实以及希腊数学的内容均有深入讨论，可视为史料汇编；许多 19 世纪欧陆科学史家，例如 Carl Anton Bretschneider 和 Paul Tannery 的工作也都已经被吸收到此书中。（2）Knorr 1975，此书专门研究希腊数学在雅典时期的发展，论述深入周详，但他的观点似乎过于偏执。

无理数问题的发现与解决造就了希腊数学。这是克诺尔（Wilbur Richard Knorr）在其专著《欧几里德〈原本〉的演变：不可测比量理论及其对早期希腊几何学重要性之研究》所提出来的观点，它的确相当神妙、引人入胜，而且无疑包含相当一部分真理。但倘若就以此为希腊数学兴起的全部动力，而忽略其纯粹属于几何学的部分，那么恐怕是把这革命看得过分粗糙和单纯了——毕竟，在《几何原本》之中无理数论只占一章，其大部分还是关于几何形体，亦即点、线、面的空间关系的，而尤多索斯的理论也主要是为几何形体的度量而发展出来①。

事实上，引起这次革命的还有另一个危机，也可以说是挑战，那就是有名的几何三大难题之出现。如所周知，这三道难题是："圆方等积"（squaring the circle）问题，即求与圆有相同面积之正方形的边长，也就是求所予圆之面积；"倍立方"问题，即求将所予正立方体的体积加倍时，其新的边长为何，也就是求线段 $2^{1/3}$ 倍的作法，这亦称"德罗斯问题"，因为它相传源于如何将德罗斯（Delos）神坛的体积加倍而来；"三分角"问题，亦即将所予角度平均三分。这三个不可能以初等方法（即只用直尺和圆规）解决的难题起源很早，大约不迟于公元前5世纪中叶。如下面所将提到，其后一个多世纪间几乎所有重要自然哲学家、数学家都曾经对这些难题发生兴趣，而且最早的"极限"观念以及归谬法之发现都可能与此相关，它们对于希腊心灵的挑战之强烈，其所产生的激励作用之重要是绝对不容低估的。所以，我们认为，希腊数学革命其实是起源于算术和几何学两方面的危机与挑战，亦即无理数与几何三大难题的出现，其转折点是特奥多鲁斯和希波克拉底于公元前5世纪末在这两方面所分别所获得的突破，而学园的出现则为这初步突破提供进一步发展机会。以下我们讨

---

① 见 Knorr 1975。在该书 pp. 6 –9 克诺尔承认《几何原本》包含两个不同传统，即关于几何学的旧传统，以及关于不可测比量的后起传统，但他在书末的结论中强调，就《原本》而言，后者重要得多："因此，除了 1、3、6、11 各卷以外，实际上《原本》的整体可以理解为欧几里德力图将无理数的形式理论全部以一完整论文汇编加以表述的结果"，但他作此断言的最直接根据只是专门讨论无理数的第 10 卷与第 2、6、13 卷的密切关系（pp. 287 –288）而已。

论这一历程的细节。

“不可测比”观念的震撼

在毕氏之后的半个世纪（公元前500—前450）我们能够数出来的数学家还很稀少，其中最早，也最令人注意的当是上文提到的希帕苏斯（约公元前500—前440）。他有可能首先发现正方形对角线与边不可测比，亦即$\sqrt{2}$不能表为自然数的分数——当然，发现者也可能是毕达哥拉斯本人或者教派中的其他人，而且发现的时间（更应该说是发现被披露的时间）很不容易确定，只能够笼统地说大约在公元前450—前430年之间。但无论如何，像“不可测比”和无理数那样奥妙的观念之发现并且得到无可置疑的严格证明，对于毕氏教派来说，无疑是极具震撼力的重大事件。为什么呢？因为“万物皆数”是他们最基本的信念，而这“数目”只能够是正整数，亦即所谓“自然数”。他们忽然间发现，正方形边与对角线的长度比例却无论如何都不可能以上述“数目”表达，亦即它并非有理分数，这样他们的基本信念自不免面临陷于崩溃的危险！以是，这发现被视为教派绝大秘密，向外界泄漏者等同叛徒而要被处死，是可以理解的。就数学发展的立场而言，这发现的重要性在于它激起了彻底了解“无理数”（这是我们为了方便而用的现代词语，在当时称为“比例”）的好奇和决心，从而触发西方第一次科学革命，亦即我们所谓新普罗米修斯革命①。

在这方面首先做出贡献的是北非昔兰尼（Cyrene）的特奥多鲁斯（Theodorus，约公元前465—前398），他是毕派信徒，智者普罗泰戈拉的后辈朋友，又是柏拉图的老师，他于公元前410—前400年间证明在3和17之间的所有“非平方数”（即其方根并非整数者）都是无理数，这显然是希帕苏斯工作的推广。他的证明很可能是基于几何而非算术方法，但细节并不清楚，至于为什么此证明不能够遍及所有“非平方数”

① 在一个世纪之后，毕氏教派对不可测比量之发现所感到的震撼仍然在柏拉图的《法律篇》留下痕迹，在那里柏拉图假借一个雅典陌生人之口，大事嘲笑希腊人竟然不知道有不可测比量这回事情，简直是无知到可耻地步。见 *Laws* 819－820。

而只能够及于 17 及以下的数目，则更是众说纷纭。将此证明作普遍推广的，是他的学生泰阿泰德（Theaetetus，约公元前 417—前 369），其辈分与柏拉图、阿基塔斯相同，大概也是毕派信徒。在《对话录》中有两篇以他为主角，更且对于他之在雅典与科林斯（Corinth）战役中英勇作战受重伤，被抬回雅典后死亡的场面有戏剧性描写。他的数学发现较晚，当是在学园成立前后（约公元前 390—前 370）所作，其后被编进《几何原本》第十和十三卷。其中最主要的包括：非平方数（他称之为长方数即 Oblong Number）的平方根是无理数的普遍证明，以及无理数的详细分类。但除此之外，他还普遍被认为是首先严格构造正八面体和十二面体，并且确定其外接球面的位置与半径者；同时他对尤多索斯的比例理论也有荜路蓝缕之功①。

这样，我们大致可以将新普罗米修斯革命的时间，亦即是不可测比量危机从出现以至消解的时间，大致定为约公元前 430—前 370 年这 60 年期间，柏拉图的哲学转向恰恰在其当中，而开办学园则在它的末期。

三大难题的挑战

几何三大难题的挑战和不可测比量危机大致同时出现，都在公元前 5 世纪中叶。三大难题挑战涉及的，主要是希腊本土哲学家和数学家，与毕达哥拉斯学派似乎没有密切关系②。根据普洛克鲁斯，和希帕苏斯同时的数学家还有阿那克萨戈拉和俄诺庇得斯（Oenopides）。前者在第二章讨论过，是曾经提出许多见解的自然哲学家。据说他在雅典狱中也研究过“圆方等积”问题，这应该是在公元前 450 年之前数年，可惜他得到什么结果不详。至于俄诺庇得斯基本上是天文学家，他在数学上的发现似乎只

① 有关特奥多鲁斯与泰阿泰德的发现，在《对话录》中只提到结果而并无细节，此原始叙述见 *Theaetetus* 147d－148b；有关他在几何学上的发现则是根据后代（例如泊布斯 Pappus 的数学评论）记载。此问题之现代论述，见 Heath 1965，i，pp. 202－212。

② 有关希腊人试图解决几何三大难题的历史，散见 Heath 1965，i，pp. 174－176，183－201，220－230，235，246－249 等篇章，但这些讨论不完全限于早期工作，也包括如尤多索斯、阿基米德等数学家的发现。

限于初等几何的作图方法，但真正贡献可能是在于将平面几何学问题规定为可以用直尺与圆规解决者，这对几何学的日后发展也是很重要的。

真正接受三大难题挑战的，是比以上两位晚一辈的希波克拉底（Hippocrates of Chios，约公元前470—前410）①。他与苏格拉底同时，是希腊第一位赫赫有名的专业数学家。我们对他所知很少，只限于他本来是贸易商人，由于失去大笔金钱被迫长期滞留雅典兴讼，在无意中对数学发生兴趣，从而成为著名数学家，这大约是他晚年即公元前430—前410年间的事情。他最重要的三个发现都和几何难题有关。首先，是证明圆面积与半径平方成比例，但方法不详。其次，是发现了某些特殊月牙形（Lunes，由两个圆弧包围而成）面积的准确计算法，这与推算圆面积的原意当然不一样，但也显示出此时希腊几何学的水平，即能够自由应用勾股定理以及利用比例推理来处理面积（包括曲线所包围面积）问题了。最后，则是证明“倍立方”问题相当于连比例或者复比例问题。即是，倘若 $a:x=x:y=y:b$，而且 $b=2a$，那么 $x=2^{1/3}a$。一般认为，他这发现是扩展“倍平方”问题的结果而来，即当时已经知道，倘若 $a:x=x:b$，而且 $b=2a$，那么 $x=\sqrt{2}a$，这是正方形面积加倍问题的解，将此问题中的单比例扩展到前面的复比例，就可以解决正立方体体积加倍问题。除此之外，根据普洛克鲁斯和辛普里修斯，他还是《几何原本》开头两卷（另一种说法是第三、四两卷）的本来作者。所以，将他视为希腊几何学的最早奠基者，应该十分恰当。

和希波克拉底同时而对于“圆方等积”问题也有重大贡献的，是智者安梯丰（Antiphon，约公元前480—前411）。根据辛普里修斯记载，他首先提出，只要将圆内接正多边形的边数逐步增加，两者的面积差就会减少至于消失，而多边形总是可以化为等积正方形的；换而言之，他已经意识到内接正多边形在边的数目无限增加时，圆面积是其面积的“极限”

---

① 其论述见 Heath 1965，i，pp. 182－202。他往往被人与希腊医学始祖，另一位大约同时、同名并且来自相邻岛屿的希波克拉底（Hippocrates of Cos，约公元前460－约前380）相混淆；此外，在《对话录》中也还另外有人与他同名。

(limit)，这成为日后尤多索斯和阿基米德更精确工作的基础。另外一位“智者”希庇亚斯（Hippias of Ellis，约公元前440—前399）则发现了称为“求积线”（Quadratrix）或者“三分线”（Trisectrix）的高次曲线：它的作法很简单，却可用以解决圆方等积问题以及三分角问题。其实，他的前辈，智者的始祖普罗泰戈拉（Protagoras，约公元前490—前420）也有关于数学的著作——不过，他是反对数学的，据说此书论证几何元素即线和点是理想中的事物，不能够实际存在。最后，当然还有我们熟悉的阿基塔斯，他和柏拉图同时，比前面两位要再晚一辈，已经是跨越公元前5世纪和公元前4世纪之间的人了。也许是受希庇亚斯影响，他发现了直接解决倍立方问题的立体几何方法，即先以一个顶角为直角的圆锥面和一个圆柱面的相交轨迹来定义一条空间曲线，这曲线和内径为0的一个环面的交点就给出了问题的解①。在著名毕派学者当中，他是关注几何难题的第一位。

从上面的简短讨论可以看出：环绕着三大难题发展的几何学传统与毕达哥拉斯学派本来可能并没有直接关系，但此传统的重要性与毕派环绕“不可测比量”问题发展的算术传统相若，它们的发展时期也大致相同，都在学园之前。至于它们的合流则是从与学园关系密切的阿基塔斯和泰阿泰德开始，到尤多索斯而完成。

学园中的数学

学园成立之后为希腊数学营造了一个具有热烈气氛的研讨环境，学者的交流与竞争也因此产生了“聚焦”作用。因此，我们在下面提到的少数特出数学家其实并非孤立个人：他们是在一种非常活跃、炽盛的学术气氛中，和许多其他数学家并肩工作、竞争，从而获得重要成果的。这普洛克鲁斯有生动描述，它对柏拉图的揄扬可能有点夸大，但还是值得详细征引②：

---

① 他此解相当神妙，详细讨论见 Heath 1965，i，pp. 246 - 249。

② Proclus/Morrow 1970，pp. 66 - 68.

在他们（作者按：指希波克拉底和特奥多鲁斯）之后，柏拉图以其热诚大力推进数学，特别是几何学。如所周知，他的著作中充满数学词汇，他又极力在有志哲学者中间点燃对数学的热情。与其同时的还有利奥达马（Leodamas of Thasos）、阿基塔斯和泰阿泰德，他们不但发现新定理，而且把它们整理出系统来。比利奥达马年轻的有尼奥克里德斯（Neoclides）和他的学生雷翁（Leon），他们也陆续有许多新发现，因此雷翁得以编纂一部原理著作……稍后有属于柏拉图群体的尤多索斯，他是最先发现更多所谓普遍定理的……柏拉图的追随者阿米克拉（Amyclas of Heracleia）、尤多索斯的学生同时也和柏拉图有来往的门纳木，以及他的兄弟狄诺斯特拉图斯都对于几何学大有贡献。修底乌斯（Theudius of Magnesia）颇有声于数学和哲学，因为他不但编纂原理有功，而且更将许多偏狭的定理加以推广；阿忒纳奥斯（Athenaeus of Cyzicus）的时代和他们相若，他在数学的许多分支特别是几何学声誉亦高：这些学者都居息于学园，共同探究问题。赫莫提姆斯（Hermotimus of Colophon）不但推进了尤多索斯和泰阿泰德所开创的工作，而且发现了《几何原本》中的许多命题，对轨迹定理亦有贡献；菲利普斯（Philippus of Mende）在柏拉图的鼓励和指导下研习数学，他勤奋过人，遍习所有可以发扬柏拉图哲学的问题。

这段话写成于学园成立之后八百多年，但其中所包含的大量细节很可能是转录自尤德姆斯的《几何学史》，所以是极端珍贵的史料。当然，它没有反映所有实况，例如学园内部的竞争、紧张，那在任何活跃的研究机构之中恐怕都难以避免。事实上，在柏拉图与他的杰出弟子之间，这种紧张是经常存在的。例如，亚里士多德性情不近数学，而且自己有一群弟子，他在柏拉图晚年甚至可能对这位老师有颇为不客气的举动①；尤多索斯醉心数学，但相传他和柏拉图由于互相竞争而不合；此外柏拉图也不喜欢狄诺斯特拉图斯应用“求积线”，认为有将机械工具引入几何学，从而破坏

① 见 Dillon 2003，p. 4 的转述。

其崇高和纯洁性质之嫌。但这些并不妨碍他们之各显才华，相争发展，而古希腊科学的大传统也正是在他们活跃的公元前4世纪建立起来的。

古希腊的牛顿：尤多索斯

在学园出现后大半个世纪间（公元前380—前320），希腊数学仍然沿着理论追求与严格证明的方向前进，但是已经逐渐超越原来钻研个别问题的路向，而出现三个新方向：即是从平面走向立体，从个别证明走向系统方法，以及脱离直线与圆的限制，迈向圆锥曲线和高次曲线，乃至超越曲线的探究。推动这些新发展的除了上面已经讨论过的泰阿泰德以外，还有阿基塔斯的学生尤多索斯，他头脑之敏锐，思想之锋利是众所公认的。

像泰勒斯、毕达哥拉斯和希波克拉底一样，尤多索斯（Eudoxus of Cnidus，约公元前395—前343）也是爱奥尼亚海岸人。他在弱冠之年曾经到西西里岛师从阿基塔斯，到雅典听柏拉图讲学，以及游历埃及16个月之久，然后在库齐库斯（Cyzicus，马尔马拉海南岸一个半岛）开设学校授徒，名声大盛，最后才带同生徒回到雅典，并且可能一度加入学园，这时他应该已过而立之年了[①]。因此，虽说他是柏拉图和阿基塔斯的学生，并且被视为毕派学者，他和以上两位的关系应该在师友之间，而且很早就成为独立工作的成熟数学家。事实上，他和柏拉图的关系有截然相反说法：一说是柏拉图访西西里期间曾经委任他代理学园校长；另一说则是他们二人因为互相竞争而关系紧张。无论如何，他后来离开雅典，回到本城尼多斯，在那里广受尊敬，被推举为立法者，又建立天文观测所，其所得到的数据有可能在两百年后为喜帕克斯（Hipparchus）用作编纂星表的基础。

尤多索斯对希腊数学有革命性贡献：这并非在于特殊的定理或者个别发现，而属于更根本的层次，即建立严格、普遍与系统方法，其核心是比例理论和归谬法，这日后成为希腊数学乃至天文理论的基础与典范。此

---

① 尤多索斯在第欧根尼书中有传，见 Diogenes VIII. pp. 86 - 91；关于他的讨论并见 Guthrie 1962 - 1981，v，pp. 447 - 457；Heath 1965，i，pp. 320 - 335；Boyer 1985，pp. 98 - 103。

外，他还是利用几何学来建构天体运行模型的第一人（见下节）。所以，无论在数学抑或天文学上，他和两千年后发现微积分学和万有引力定律的牛顿一样，都是建立科学新体系与传统、开创新时代的人物。称之为希腊的牛顿，他是全然当之无愧的。

实数理论与极限观念

尤多索斯的著作已经全部失传，不幸中之大幸是阿基米德在自己的书中明确地将发明归谬法的功劳归之于他，而现代学者也同意，《几何原本》中的许多结果，特别是卷五和卷十二，基本上都是他的作品。我们由是得以知道，他最重要的贡献是提出了比值（ratio）的精确定义和极限观念。这两者都是要严密地测比（measure）几何形体，亦即决定平面图形面积或者立体体积，所必须的基本工具。

（1）比例理论

比值的定义为什么是个问题？因为在古希腊人心目中“数目”只能够是自然数即正整数，由之建构的比例只能够是有理分数，要将“比例”应用于几何形体的测比，那就必须把它扩展到我们今日所谓“实数”（real number），即包括有理数和无理数的“连续统”（the continuum）①。

尤多索斯比例理论（theory of proportion）的核心是：倘若 a，b，c，d 四个量成比例（即 $a:b=c:d$），那么无论整数 m，n 为何，倘若 $ma<nb$ 则 $mc<nd$；倘若 $ma>nb$ 则 $mc>nd$；倘若 $ma=nb$ 则 $mc=nd$②。表面上看来，这里说的好像只不过是四者成比例则有交叉相乘关系 $ad=bc$ 而已。但其实不然，因为这里涉及的“量”a，b，c，d 可能是对角线长度或者

---

① 在一无限长直线上以任意点 O 为原点，以任何一段距离为单位距离，那么对应于线上所有点与 O 距离的数目就是所谓实数：它可区分为有理数（rational number，即自然数和以自然数构成的分数）与无理数（irrational number，即有理数以外的所有其他实数）；无理数又可区分为代数数（algebraic number，即代数方程式的根而非有理数者，这包括但不限于所有无理方根例如$\sqrt{2}$）以及超越数（transcendental number，即代数数以外的无理数，例如圆周率 π）。

② 见《几何原本》卷五定义 5，它普遍被认为是尤多索斯提出来的。

圆面积，也就是无法以有理分数界定的无理数，包括超越数。倘若如此，那么对古希腊数学家而言，说这些量“成比例”到底是什么意思就无法严格界定。上述定义等同于将所有有理分数 n/m 划分为 ma < = nb 和 ma > nb 的两类，亦即 a/b < = n/m 和 a/b > n/m 的两类，由此就为比值 a/b 找到了严格定义，即 a/b 是划分两组有理分数（这些是可以清楚界定的）的“分割数”。事实上，19 世纪狄德金（Julius Dedekind）为普遍的无理数所提出来的定义，即所谓“狄德金分割”（Dedekind cut），和尤多索斯的这个定义在观念上完全相同。所不同者，仅仅是古希腊数学中只有比例而并没有普通分数这名称而已。无论如何，这看似不必要的繁复的比例之定义，就是使得希腊数学可以在稳固基础上，精确测度几何学中所涉及的各种线段、面积、体积的一个观念上的大进步。

（2）极限与归谬法

要研究曲线所包围的面积，或者曲面所包围的体积，最基本的办法就是用多边形来逼近曲线，或者用多面体来逼近曲面。上面提到安梯丰求圆面积的构想就是如此。但到底何谓“逼近”？为了解决此问题，尤多索斯提出了归谬法（method of exhaustion）。

这个方法的核心是所谓“阿基米德引理”（Archimedes' lemma），它其实应该称为“尤多索斯—阿基米德引理”。此引理是：从任何数值减去其本身的一部分，再从余数减去同样部分，如此反复施行，那么至终所剩余数必将小于任何预先决定的数值①。用现代数学语言来说就是：给予任何正整数 A，那么预先决定的 ε 无论如何小，必然可以找到整数 N，使 $n > N$ 时 $A(1-r)^n < \varepsilon$，其中 $0 < r < 1$。换而言之，$A(1-r)^n$ 在 n 趋于无穷大时的极限为 0。这个引理本身的证明并不困难，但它的应用非常广泛，主要在于以两组多边形分别逼近两条不同曲线，然后通过多边形面积的比较来作相应曲线所围面积的比较，并且用归谬法（即倘若 A 既不大于亦不小于 B，则两者必然相等）来严格证明后两者的精确关系。以下三个关系在

---

① 这引理和《几何原本》卷十命题 1 基本相同。在原文中这“部分”（fraction）不小于 1/2，但那其实不重要。

今天看来只不过是常识，但它们的严格证明最初都是由尤多索斯以上述归谬法得到的：不同大小的两个圆面积之比等于其直径平方之比；方锥体的体积等于同底同高的方柱体的1/3；圆锥体的体积等于同底同高的圆柱体的1/3。后两个关系其实最初是由德谟克利特发现，但严格证明则有赖尤多索斯的方法之出现。

（3）对于希腊科学的影响

到了尤多索斯手里，希腊科学的基本精神就确立了，那就是追求非常严格的证明，和专注于空间形体的量化关系，即几何形体的测比——也就是说，它对于数量本身的关系即算术没有那么注重。这就是我们所谓的“代数几何学”，它可以视为自泰勒斯以至希波克拉底的几何学传统和毕达哥拉斯学派的数目学传统之融合；同时，也可以说是以数量为核心的巴比伦“几何代数学”的反面。这精神反映于集雅典时代数学大成的《几何原本》，它不但成为希腊科学在托勒密王朝发扬光大的坚实基础，而且其影响一直延续到伊斯兰科学和文艺复兴科学，乃至牛顿的《自然哲学之数学原理》。它之被以符号运算为特征的微积分学所取代，已经是18世纪的事情了。

而且，尤多索斯的贡献并不止此：在天文学上他也是作出了基本贡献的开创性人物，这在下面还要专门谈到。更直接的，则是他在学园中教出了两位非常优秀的学生，即门纳木（Meneachmus，约公元前380—前320）和狄诺斯特拉图斯（Dinostratus，约公元前390—前320）兄弟[①]。门纳木在试图解决倍立方问题的时候，无意中首先发现了以斜置的平面截割圆锥体，就可以因斜度不同而得到抛物线、双曲线和椭圆等三种不同圆锥曲线，并且对其性质作了相当的研究。这一发现为日后希腊数学的发展开辟了一个宽广的新天地，像阿波隆尼亚斯就完全是在这个领域发展。至于长兄狄诺斯特拉图斯则名声没有那么显著，他的贡献是证明希庇亚所发现的“求积线”可以利用于求圆面积。雅典时代的数学大概就以门纳木弟兄为殿军：他们去世大致与亚历山大大帝和亚里士多德去世（分别为公元前

---

① 他们二人的工作见 Heath 1965，i，pp. 251－258 以及 Boyer 1985，pp. 103－107。

323年和前322年）同时，而这正就标志着希腊古典时期的结束。

五、远古与希腊天文学

在所谓“精确科学”之中，数学主要涉及人的思维，发展最早；天文学所涉及的自然现象规律性最强，因此有最大可能性和数学结合，往往紧随其后，这在巴比伦和希腊都是如此。但巴比伦天文学的出现远远早于希腊，而且有清楚的证据显示，它在观测和计算上的许多成果为希腊所大量吸收。另一方面，希腊天文学从头就受自然哲学感染，所以形成探究原委的独特传统。到公元前4世纪中叶尤多索斯提出第一个天体运行的数学模型，这是个革命性创举：人不再以言辞解释自然，也不再单纯地以数学测算自然，而首次在心目中拟想自然图像（或曰原理），然后利用数学将之与自然现象紧密结合。这以量化模型来摹拟自然的方法，可以说就是走向现代数理科学精神的第一步。但无论如何，希腊天文学的早期发展还是建立在东方文明，特别是巴比伦天文学的基础上的，在这方面的证据要比数学上的清晰得多①。

古埃及与苏美尔

和一般印象相反，埃及天文学几乎是一片空白，留下的资料也很稀少，它对于后世的影响基本在于历法和时间计算。这见之于两方面。首先，是每年固定为365日的日历，即每月30日，每年三季，每季四个月，合共12个月360日，外加五个节日（即 epagomenal day）②。这简单明了，完全固定的“埃及年”极便于历史上计算时日之累积，所以为后世沿用

---

① 古代天文学的论著有奈格包尔的《古代精密科学》，这是简明论述，以及其三卷本《古代数理天文学史》，那是划时代的详尽专著，分别见 Neugebauer 1969 和 Neugebauer 1975。近年相关论著尚有为一般读者撰写而且相当简明扼要的 Thurston 1994；至于 Swerdlow 1998，Swerdlow 1999 与 Hunger and Pingree 1999 则都是高度专门著作，后两者以星占学为主。

② 埃及12个月的命名依次是 1 Thoth，2 Phaophi，3 Athyr，4 Choiak，5 Tybi，6 Mechir，7 Phamenoth，8 Pharmuti，9 Pachon，10 Payni，11 Epiphi，12 Mesore。

以至文艺复兴时代。不过，历法完全不顾及岁差的代价，自然就是它和月亮盈亏以及季节变化逐渐脱节，以至不能够标志农耕和其他时令现象，例如尼罗河的泛滥。这使得辅助性观测（例如天狼星的出现）和其他种类的历法成为必要。其次，则是将每日划分为日夜两半，每一半又分为12份。这系统起源于中王朝时期（约公元前1800—前1200），原本是以不同星辰在黎明时分的出没（即所谓“偕日升”heliacal rising）为依据的“旬期”（Decan）计时方法，其细节可以从刻划在石棺盖上的图解和说明追寻。它后来蜕变成将一日平均划分为24小时的计时制度，这同样为希腊和西方所沿用①。

两河流域的天文学则发达得多。在苏美尔时期它还处于原始阶段，如今所知，只有数十颗星名的记录，及一个标准的月历系统，在其中每月29至30日，以新月为开始，每年12个月，每隔若干年置闰，以维持年月的周期；除此之外，他们也利用滴漏（clepsydra）计时，将每日分为均等的12个“时辰”，每晚分为三更，每更两个时辰，等等②。

巴比伦天文学

至于巴比伦天文学则是在王室或者神庙支配下由专职甚至世袭人员负责，所以能够在很长时期系统地累积大量数据，并且产生重要的精确量化成果。相关陶泥板的研究显示，巴比伦天文学从旧王朝，即公元前18世纪开始出现，亦即与数学陶泥板的高峰时期同时。其后它逐步发展，大体上可以分为三个阶段③。最早阶段有漫长的11个世纪（公元前1800—前700），特点是量化观测的发展。其时已经有月的升起、新月出现，以及金星出没等天象的逐日记录，其中有21年（公元前1702—前1681）非常完

① 埃及历法与天文学的简短讨论，见 Neugebauer 1969，pp. 80 - 91；详见 Neugebauer 1975，Bk. III，pp. 559 - 568。

② Kramer 1963，pp. 90 - 91.

③ 巴比伦天文学的综合讨论，见 Neugebauer 1969，Ch. 5 和 Thurston 1994，Ch. 3；详细和有关行星理论的专门讨论，见 Neugebauer 1975，Bk II，pp. 347 - 555，其中 pp. 347 - 353 是巴比伦天文学史以及相关陶泥板资料的综述。至于 Neugebauer 1983 则是三卷本的巴比伦天文陶泥板原始文献汇编。

整，从其规则性和无间断看来，它们不止是观测记录，还可能有推算数据。令人极感兴趣的是一个图表，在上面天空划分为三个区域，每区域包括 12 颗星的名称以及有关周期变化的数目。除此之外，还有数千以上的天文兆象（omen）记载。

第二阶段出现于亚述帝国后期以迄亚历山大大帝时期，即公元前 700—前 300 年的 400 年间。在此期间准确、有系统的观测大量增加，各种现象规律（phenomenological rules）也陆续发现。当时出现了所谓 mul-apin 陶泥板系列，上面有天文知识和观念的综合记载，包括不同方位恒星、行星和日月的出没；季节转变、圭表（gnomon）[①] 的日影长度变化；黄道带及其 12 宫的划分，等等。除此之外，日月运行和出没规律、日月蚀、各行星的留驻、逆行等天象也开始出现了系统和完整记录。但这个时期最重要的进展应该说是各种天文周期的发现与应用，即（1）每 19 年应当在固定位置"置闰"（intercalate）7 个月，即 19 年内共有 235 个朔望月（synodic month）的历法制度；（2）朔望月的长度精确测定为 29.530594 日；（3）日月蚀的所谓沙罗斯周期（Saros cycle）之发现，即是每隔 223 个朔望月，相当于 18 年 11.3 日，日蚀或者月蚀就会重复出现；以及（4）发现金、木、水、火、土五大行星的会合周期，分别为 8、83、46、79 与 47，以及 59 年，等等。

在亚历山大之后以迄罗马帝国早期（公元前 300—公元 75）是巴比伦天文学的鼎盛时期，特征是以数值方法测算天文现象。这一时期出土的天文陶泥板共 300 块左右，其中大部分属"星历"（ephemeris）性质，记载的是计算所得的天体位置即其经纬度之变化，小部分属"指示"性质，记载的是计算步骤亦即方法。这些资料的研究显示，巴比伦学者已经清楚了解日月运行速度有变化，也就是不固定的，因此在上一阶段的周期规律以外，又发展了预测日月运动位置的数值计算方法，那基本上就是以折线函数（zigzag function）或者阶跃函数（step function）等周期函数为基础的内插（interpolation）和外延（extrapolation）法。他们由此得到了非常

---

① 这是垂直立于地上的标杆，用途颇类于中国最早天文典籍《周髀算经》中的"髀"。

丰富和精细的成果，能够计算日月在黄道上的经度变化、白日长度（以日出日落为准）变化、月的纬度变化、月份长度（以新月为准）变化、朔望月平均长度、月的纬度周期和行速周期，等等。他们并且以基本相同方法，作了大量有关各行星的计算，包括其在黄道上的经度变化，“冲”和“逆行”始末的时日和位置，“偕日升”和“偕日落”的日期，等等。

在公元前4—前3世纪之间，巴比伦天文学已经发展到极致。此时希腊天文学虽然具有独特传统并且经过了尤多索斯革命，却仍然处于起步和摸索阶段，就专业水平和具体成就而言，它是远远不能够和前者相比的。事实上，有不少证据显示，希腊曾经大大得益于巴比伦的计算技巧、观测数据和现象性规则。根据罗马时代的记载，贝罗索斯（Berossos，约公元前340—前280）是巴比伦祭司，他曾经为塞琉西王写过一部巴比伦历史，在公元前290—前270年间移居爱奥尼亚的科斯岛（Cos，它当时是在托勒密王朝治下），并且开办学校教授天文学和星占学。像这类来自东方而定居希腊世界的学者在当时恐怕不在少数，他们无疑是将巴比伦天文学资料、方法传播到希腊的重要渠道。此外，如下面所提到，亚历山大大帝的东征也是重要关键，因为自此巴比伦天文学的宝库就被迫向希腊文明敞开了。我们不可忘记，甚至在500年后，即公元2世纪，托勒密的工作仍然在应用巴比伦的基本天文数据。

早期希腊天文学

巴比伦天文学是君权、神庙和家族传统的产物，它追求观测与计算的精确吻合，然而并不进一步探究、想象所观察到的现象背后究竟有什么意义。比起来，希腊天文学远不及巴比伦源远流长，其初也谈不上精确，但却具有完全不相同的理念。它是自然哲学家与科学家驰骋其想象力和推理能力的产物，因此朝着建构宇宙图像的方向发展①。从这个角度来看，自

---

① 希腊早期（公元前4世纪中叶及以前）天文学的讨论详见 Heath 1981，Ch. 1－15；亦可参考 Neugebauer 1975，Bk IV 的相关部分，包括其关于巴比伦与希腊天文学关系的讨论。但奈格包尔对于自然哲学有强烈反感，这不免影响他对于希腊早期天文学发展的判断。

然哲学始祖泰勒斯毋宁是承受东方传统多于开创希腊传统，因为他赖以成大名的，是日蚀的预测，而这却非常可能只是利用“沙罗斯”周期所得到的结果。第一次显露希腊人无限好奇和丰富想象力的，是他的弟子阿那克西曼德和徒孙阿那克西米尼。这两位公元前6世纪中叶的自然哲学家对大地形状和支撑方式作出猜测，讨论天球之旋转是因为天轴还是地轴倾斜所致，以及日月蚀的性质，这就成为宇宙论传统的开端。这传统有两个不同发展方向。其一是追寻宇宙万物的所谓“原质”，亦即基本构造原理，但这方向的道路十分漫长：两千年之后它才能够和现代科学接上头。另一发展方向是探究具体天文现象成因，和解释它的具体变化。这是比较切实的道路，而且有可能与数学密切结合，它在百年后导致希腊天文学的出现，到4世纪中叶就迎来了尤多索斯的天文学革命。

希腊最早的天文学家大约可以推公元前5世纪中叶的俄诺庇得斯（Oenopides of Chios，约公元前490—前420），他发现黄道面（即日球轨迹的平面）的“倾斜”，也就是它并不垂直于“恒星球面”的旋转轴（亦即地球自旋轴），又推算得一年有365又22/59日①。大致同时的恩培多克勒和阿那克萨戈拉则对于日蚀和月蚀成因得到正确解释，对于日球和星云的性质也作出了颇为接近真实的猜测，这些都可以说是相当重要的突破。稍后的德谟克利特对于日、月、恒星、行星众天体离开大地的远近顺序作出猜测，这和（大约是由费罗莱斯所提出的）毕氏学派“十天球”宇宙系统相互辉映，都可以视为建构宇宙图像的努力。它们虽然还是处于拟想阶段，但是对于以图像为基础的希腊天文学之形成，无疑是推进了一大步。此外，可能由于费罗莱斯的影响，在公元前4世纪前半叶，也就是学园成立前后（约公元前400—前350），还出现了两位活跃于公元前400年的谜样人物，即西西里岛叙拉古的赫谢塔（Hicetus of Syracuse）和厄番图（Ecphantus of Syracuse）。他们的生卒年代、事迹不详，只能够从西塞罗的引述知道是毕派学者，其主要贡献在于提出：众星在天球上的转动并非由于星球本身的运动，而是由于地球围绕它本身的轴旋转所形成的视觉

---

① 详细讨论见 Heath 1981，pp. 130 - 133。

景象①。这和费罗莱斯的系统一样，都是远远超越时代的见解；同时，很值得注意的是，他们的想法已经隐含了大地是球体的观念。

但一直到学园初期为止，希腊天文学大体上还停留在观察和猜测阶段，它的量化基本上只是反映历法的需要，而他们特别感兴趣的，正是如何将民间习用的阴历和祭祀，与农耕所需用的阳历加以调和、结合。在这方面最成功和最有名的是莫顿（Meton，约公元前 430）：他提出 19 年置闰 7 个月，也就是统共包含 235 个朔望月的想法，这和巴比伦的体制相同。而且，我们知道最迟在公元前 497 年，也就是大流士一世时期（约公元前 522—前 486），波斯帝国就已经采用这个置闰办法②。所以莫顿的发现很可能是引入东方专业传统的结果。这并不奇怪，因为天文观测需要系统、仔细和长期工作，这自然并非着重自由思考的希腊自然哲学家所长。

柏拉图的两种态度

柏拉图通过《对话录》与学园对希腊数学发挥了极深远影响，天文学也不例外。不过，《对话录》中讨论天文问题有各种不同方式，神话、寓言、直接论述不一而足，其中颇多隐晦难解之处，而且各篇章的基本态度也不完全一致，所以自公元前 6 世纪辛普里修斯以至 20 世纪希斯等千余年来，古今注释家花了大量精力和时间，仍然无法完全厘清他的观念和看法③。我们在此只能够将他最重要的几个观念提出来而已。

首先，毫无疑问，柏拉图接受了毕达哥拉斯学派的看法，认为“四艺”之一的天文学非常重要，是哲学家课程的基础，这是《国家篇》所明确提出来的。因此《对话录》中有大量关于天文学的论述，充分反映当时自然哲学传统包括毕派所累积的天文知识。例如，《斐德罗篇》以比喻方式谈到天体运行；《斐多篇》认为大地是球形，而并非片状或者盘

---

① 希斯认为这两人的发现和赫拉克里德斯完全相同，但是除此之外几乎没有什么资料，因此他们很可能只是在文献中被后者征引过而已。见 Heath 1981，pp. 251 -252。

② Hunger & Pingree 1999，pp. 199 -200；Neugebauer 1975，pp. 354 -357.

③ 欧洲学者曾经详细研究柏拉图对天文学态度的发展，详见 Heath 1981，Ch. 15，pp. 134 -189。

状，并且讨论地球居中不动的原因；《国家篇》卷十通过神话方式谈到整个宇宙系统，特别谈到一条贯穿地球与诸天的“天轴”，以及围绕此轴旋转的多个同心但不同大小，层层相套的八个“转盘”，众多恒星、五行星和日月等天体都各自依附其上；至于性质近乎一部微型科学百科全书的《蒂迈欧篇》则借造物主创世的步骤，讨论赤道、黄道，以及众天体的运行，甚至还讨论了恒星和行星围绕本身支轴旋转的问题①。因此，柏拉图对具体天文问题和构想是作过仔细考虑的。

另一方面，他追求永恒理念而轻视流变中的观感事物，所以原则上不重视具体天文现象，因为日月星辰虽然远在天边，毕竟也仍然要通过观感来认识。因此《国家篇》中对具体天文研究（对音乐也一样）有很不客气的批评：“在我看来，只有关乎存在与不可见事物的知识才能够令灵魂向上；而人无论瞻天还是望地以求了解具体观感（事物），我都不认为他会有所得，因为那些并非知识（science）的题材”；“但是他（真正的天文学家）绝不会想象日夜的比例，或者日和月份的比例……或者任何其他物质性和可见事物，可以是永恒和没有偏差的——那太荒谬了；同样荒谬的是浪费精力去探讨它们的究竟。”② 但在晚年的《蒂迈欧篇》他却又提出了似乎截然相反的看法：“在我看来，视觉是赋予我们最大利益的泉源，因为倘若我们从未见过星辰、太阳与天空，那么我们有关宇宙的话语一句都说不出来了。但我们所见到的日夜、月份与年的周转产生了数目，从而为我们带来时间观念以及考究宇宙本质的能力；由此我们发现了哲学，比起它来，诸神所赐予凡人的礼物无论在从前或者今后都不会有更大的了。我宣称，这是眼睛所带来的最主要恩赐。”③ 这样，可见现象又被提高成为上达哲学的阶梯。

---

① *Phaedrus* 246e－247c；*Phaedo* 97b－99b，108c－109a；*Republic* X，616b－617d；*Timaeus* 32c－33b，34b，36b－d，38c－39b.

② *Republic* VII 529－530.

③ *Timaeus* 47a－b.

现象与理念的统一

以上两种完全对立的观念，在柏拉图的最后作品《法律篇》终于得到了统一。在该书卷七讨论天文学的一段，他借一个陌生人之口宣称希腊人都在说谎，也就是在亵渎诸神，因为他们竟然说日、月、行星都“不依循相同轨道”。这说法非常奇怪，因为在当时众所周知这些天体的轨道并不完全规则。但陌生人说，这不难解释，因为他自己也只是近年才明白其中道理。解释是：“另外的那些关于日月和其他星辰游离（正轨）的教导并非真理，而是真理的反面。它们每一个都依循同样轨道——不是许多轨道，而仅仅是一条轨道，那是圆形的；所有其他变异（轨道）都只是表象而已。”① 换而言之，肉眼所观察的天体轨道虽然偏离圆形，但是它们“基本上”是圆的。这在辛普里修斯的《〈论天〉评论》有进一步解释：他转引尤德姆斯说，柏拉图要求他的学生发现那些“均匀有序的（圆形）运动，根据其假设行星的表象运动是可以得到解释的”。②

这是决定性的一步：“天体运行轨道是由某些基本圆形轨道复合而成”这一思想自此统治西方天文学几乎两千年之久。以下立刻就要提到的“同心球面”系统以及此后几章要详细讨论的“均轮—本轮”系统都是由此而来，此框格直到17世纪才为开普勒打破。但更重要的是这思想背后的原则，即“表象背后有单一和不变的基本规律存在”。圆形轨道最后证明错误而被放弃，但寻找新的基本规律则成功，并且成为现代科学的起点。

六、以数学建构宇宙模型

响应柏拉图号召而寻找某些基本圆形轨道的，据说有学园中的尤多索斯和赫拉克里德斯两位学者，前者发明了“同心球面”模型，这有详细

---

① *Laws* 821e－822a.

② 转引自 Heath 1981，p. 140n。

记载，后者据说发明了“均轮—本轮”模型，但没有留下多少证据。无论如何，从公元前4世纪中叶开始，希腊天文学就走上数学模型建构的道路，而这主要是尤多索斯的功劳。

尤多索斯的天文学革命

作为数学家的尤多索斯已经在上文讨论过了。他同时也是学园中最重要的天文学家，据说在公元前380年左右赴埃及向神庙中的祭司学习天文，并且作实际观测，前后达18个月之久①，后来回到本城尼多斯（Cnidus）建立观象台，所得数据就是他的著作《天象》（*Phenomena*）所本。此书现在已经失传，但在当时则影响很大。尤多索斯建构了人类历史上第一个天体运行的几何学模型，这是个将希腊天文学带到一个全新境界的革命性创举。他的模型虽然有明显缺点，而且过于复杂，在一个世纪以内就被放弃，但空间模型建构理念则自此成为希腊天文学的主导思想。

他所建构的，是个相当复杂的“同心球面”（homocentric spheres）模型，它的基本假设是：地球居中不动，每个天体的运动都是由同以地球为中心，但围绕不同轴向旋转的球面复合产生②。他的构想是从柏拉图而来，因此这些球面纯粹被视为数学计算工具，而并非天空中的实体，它们的质料、支撑、旋转动力等因此都不需要考虑。此系统的基本观念可以从以下的举例来说明。（1）最简单，当时学者大概都早已经想到的模型是：众多恒星是固定在以地球E为中心的球面A上，A依固定的轴A_1A_2以每日一周的速率旋转，因此恒星轨迹都是圆圈，这些圆圈的中心都同在A_1A_2轴上，但由于恒星在球面上位置不同，所以其圆形轨迹的半径也不同。很明显，这样一个模型相当准确地重现了地球自转所产生的视觉效应

---

① 以我们所知道的埃及天文学水平而言，此事自然令人发生疑问，但值得注意的是，除了尤多索斯以外，像泰勒斯和俄诺庇得斯也都有同样的传说。

② 有关尤多索斯以及此模型的详细讨论见 Heath 1981，Ch. 16。此模型的历史资料保存于 Aristotle，*Metaphysics* 1073b17 - 1074a14，以及辛普里修斯对亚里士多德《论天》的评论，细节见 Heath 1981，p. 193。

（图 4.1a）。（2）稍为复杂一点的是日的运动，它可以视为由上述球面 A 和另一个同心但较小的球面 B 这两者的均匀转动复合而成：日球 H 附在球面 B 的赤道上，B 以每年一周的速率旋转，而它旋转轴 B_1B_2 的两端则固定在球面 A 上随 A 转动。这样所产生的日轨迹仍然是圆圈，可是它有两个不同周期：由球面 A 的旋转所产生的日周期，以及由 B 的旋转产生的年周期，前者重现日球每日出没的现象，后者则重现每年四季日照方向、角度的周期性变化——这是由 A_1A_2 和 B_1B_2 两根旋转轴的方向不同所造成，即 A_1A_2 是垂直于地球的赤道面，而 B_1B_2 则是垂直于日轨迹的黄道面，两者之间有固定的夹角（图 4.1b）。

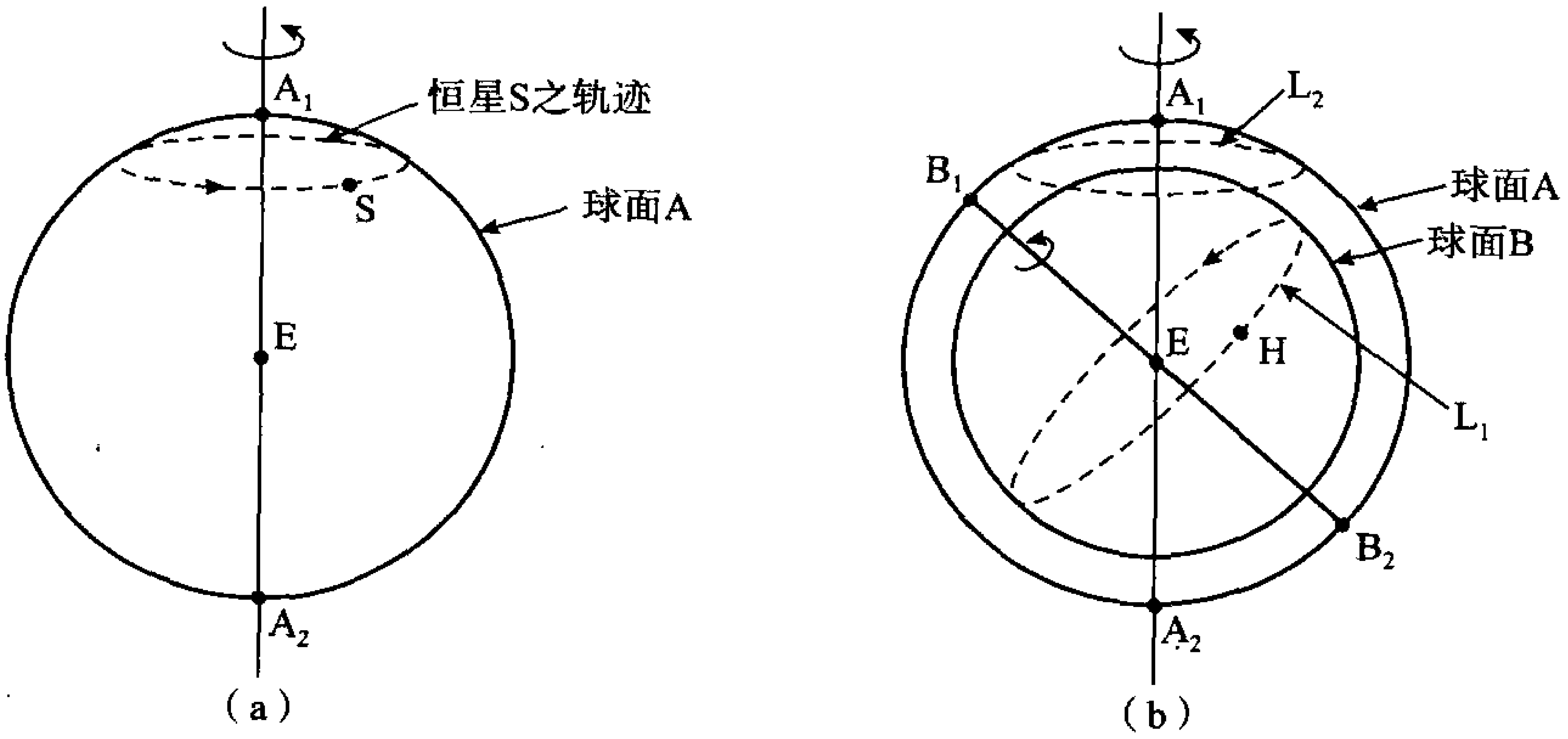


图 4.1　尤多索斯的同心球面模型图标

但尤多索斯的模型要比上述复杂得多。根据辛普里修斯《〈论天〉评论》的记载，此模型描述日和月的运动各需要三个球面。即是在上述的 B 球面以内还要有 C 球面，它的旋转轴是支撑在 B 球面上，而且周期特别长，日或者月则是附在 C 球面的赤道上。就月球而言，这不难理解，因为除了地球的自转和月球（在所谓白道上）的绕地球运动以外，还有白道在黄道上的缓慢运动，所以统共需要三球面。就日球而言，这却很特别，因为重现地球的（均匀）自转和公转只各需要一球面就够了，第三个球面的需要实际上是出于误认为日球轨道和月球、行星一样，在黄道上

也有缓慢改变①。至于行星，则每颗各需要四个球面，以分别照顾地球的自转、公转，以及行星的公转，即其绕日运动，包括它们的留驻（station）、逆行（retrogradation）和纬度变化（即偏离黄道面）等现象。“同心球面”系统当时被认为最成功的一点，就是当行星四个同心球面的最内部两个球面的旋转轴夹角超过某临界值时，行星轨迹就呈现为贴在球面上的“8”字形“双纽线”（lemniscate），这尤多索斯称为“hippopede”（马绊索）。在此轨迹上运行的行星显然就会呈现留驻、逆行和偏离黄道等现象（图4.2）。根据同心球面模型的构造，以今日数学方法自然不难确定这轨迹的形状，但科学史家的详细研究证明，它也同样可以用当时希腊几何学方法得到。

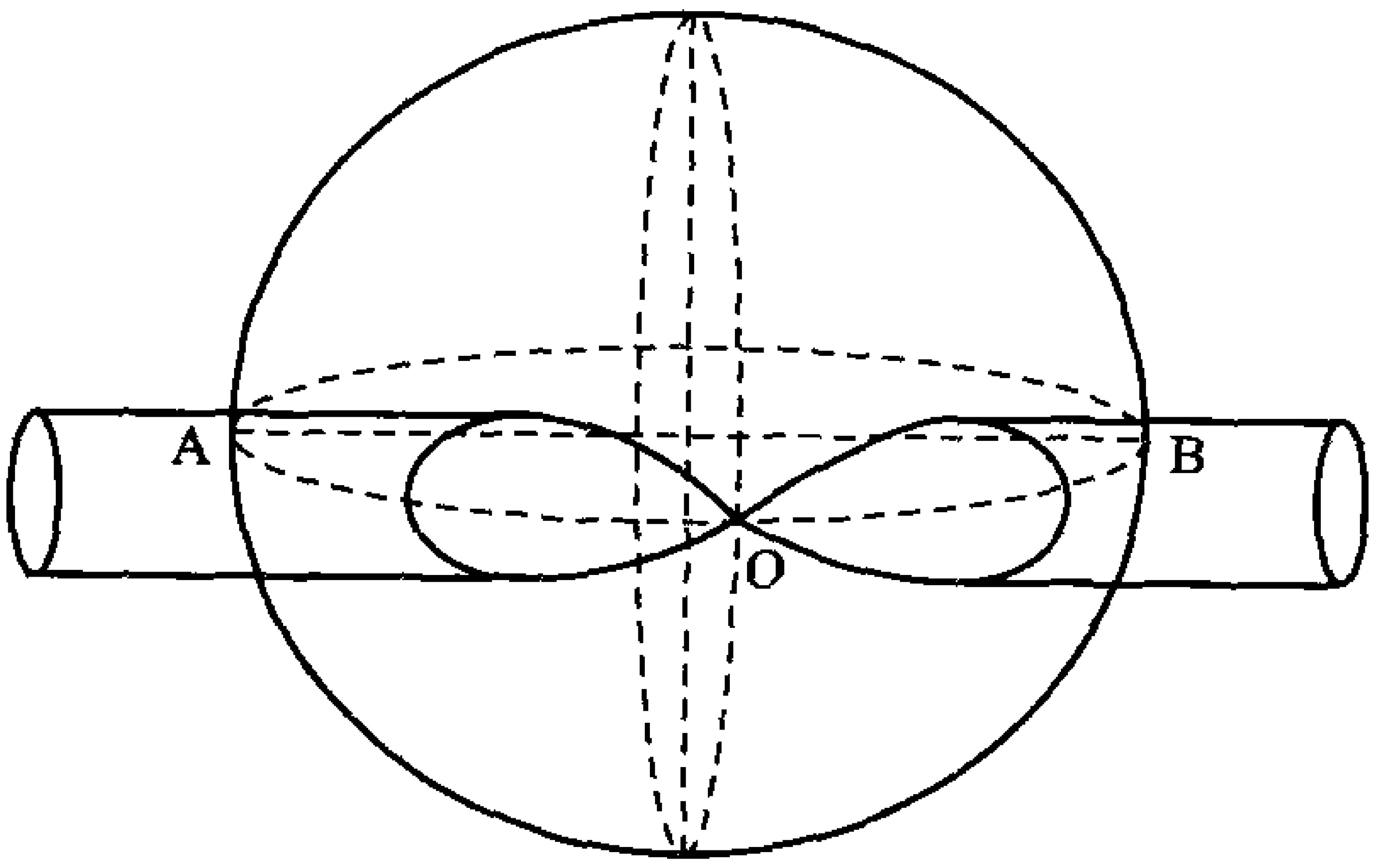


图4.2　尤多索斯同心球面模型在内外两个球面旋转轴为垂直时所产生的“马绊索”形行星轨迹（根据 Heath 1981，p. 203 Fig. 7 重绘）

事实上，同心球面系统不但可以重现天体运行轨道的大致形状，还可以用以实际计算轨道的特征数值，例如逆行部分的弧度。根据辛普里修斯所记载的尤多索斯在计算中所用部分参数（即各行星的黄道周期与朔望周期），他的计算过程也得以大致重建。由是可以推断，这模型对于日、月、土星、木星、水星都相当有效，但对金星颇有问题，而对火星则完全

① 根据希斯，在尤多索斯的时代日月行速亦即经度变化的不均匀早已经发现，但是他有意识地忽略此事，所以不需要另加球面来模拟此现象。

失效①。但是，无论详细计算结果如何，尤多索斯的工作无疑开创了一个重要典范，那就是自然现象可以用几何模型加以解释和“重现”（reproduce），也就是说，模型不但是想象中的构造，而且其表现（behavior）是可以根据其构造而推算的，推算结果与观测数据吻合就可以显示模型为合理。在这个典范中，数学、理论和天文观测紧密结合，互相推动、影响，这可以说是现代数理天文学的雏形了。

模型的修订与发展

尤多索斯理论的成功在当时学者中间引起了极大兴趣②。然而它也有很明显的缺陷，那就是在这“同心球面”系统中，任何一个天体都是在以地球为中心的球面上移动，所以离开地球的距离永远不会改变，而这和观测结果有直接冲突。这问题早已经为人意识到了，但最先提出来讨论的，则是尤多索斯在塞齐库斯的学生波利马克斯（Polemarchus of Cyzicus），他指出，金星和火星的亮度随着时间有变化，月亮的视角大小也不一样，所以它们离地球的距离不可能是固定的。

至于卡里普斯（Callipus of Cyzicus，约公元前370—前300）则是波利马克斯的学生，后来跟随老师赴雅典，并且向亚里士多德问学，可能还一道工作，这应该是在亚历山大大帝时代。他有两项重要贡献：首先，是修订了莫顿的置闰系统，把它改为76年里面共有940个朔望月，其中比之莫顿系统的小月（hollow month）数目加一，而每年平均有365.25日。这系统于公元前330年在马其顿治下的希腊正式公布实施，由是使得卡里普斯成为当时最知名的天文学家。不过，这修订恐怕不是他的原创，因为它发生于亚历山大大帝征服巴比伦（公元前331）和随军历史学家卡利撒尼斯（Callisthenes of Polynthus，约公元前370—前327）命令巴比伦多年累积的《天文日志》（Astronomical

---

① 有关轨道形状与特征数值的研究，详见 Heath 1981，pp. 202 - 211；Neugebauer 1975，Pt. 2，pp. 677 - 683。

② 在尤多索斯以后的同心球面系统之发展，包括波利马克斯、克利普斯和亚里士多德在这方面的工作，见 Heath 1981，pp. 212 - 224，相关历史资料则来自亚里士多德的《论天》与《形而上学》，以及辛普里修斯的《〈论天〉评论》。

Diaries)翻译为希腊文之后仅仅一年，所以难以排除两者之间有直接关系。它甚至很可能就是亚里士多德（卡利撒尼斯是他学堂中有数的学者）居间协调的结果。除此之外，卡里普斯还修订了尤多索斯的“同心球面”系统：对于水星、金星与火星的计算，他各增加一个同心球面，也就是统共各用五个球；对于日和月的计算，他各增加两球，所以也是各用五个球。修订目的为何并无记载，但新系统无疑能够更准确地“重现”各天体的运行，譬如火星的逆行，以及日月行速的变化，等等。但正如后来日趋精密的均轮—本轮系统一样，它也就因此变得更为繁复，从而丧失其精妙了。

和尤多索斯大致同辈，但比他长寿的另外一位重要毕派天文学家是来自黑海南岸的赫拉克里德斯（Heraclides of Pontus，约公元前387—前312）①。他是柏拉图在学园中有数的弟子，据说家世显赫，体态肥胖，举止柔弱，曾经在柏拉图第三度赴西西里的时候代理校长职务，又曾师从亚里士多德和学园第二任校长斯彪西波，但后来竞选第三任校长失败，遂回到家乡终老。他对同心球面系统没有贡献，但另有多个重要发现或者见解，不过他的人缘似乎不好，因此有关记载十分零散。他提出了三个现在看来都十分超前，而且我们知道都是正确的重要新观念。首先，他继承了赫谢塔和厄番图的地球自旋说，而且似乎是有关后两位学者的唯一资料来源。其次，从其光度的变化，他推断水星和金星都是围绕太阳而非地球运转。最后，他认为宇宙是无穷的，其中每颗星都自成世界。除此之外，也有学者认为，他是最先提出“均轮—本轮”系统构想的人，但这可能只是与水星和金星有关的所谓“偏心系统”而已，“均轮—本轮”系统的发明权应该还是如托勒密所说的那样，归于一个世纪之后的阿波隆尼亚斯。

亚里士多德的贡献

最后，谈过了他的弟子，我们也不能忽略亚里士多德本人。他很重视天文学，著作中诸如《论天》、《天象学》、《形而上学》都和天文学有关，而且涉及的题材非常广泛，可以说宇宙、天文、地理、气象无所不包。不

---

① 有关他的生平和多个重要发现（以及其记载的来源）见 Heath 1981，Ch. 18，pp. 249 – 283。

过，他在天文学史上的影响虽然很大，却很不幸大部分是负面的。非常吊诡地，这可以说是他博学和认真所致：博学使得他论述一切与天文、天象有关的事物，认真则使他对每一样事物都要作出详细和具体解释。但以当时的知识水平来说，这其实根本没有可能，故而他只能从一些表面上似乎可靠的原则出发，来作大胆猜测和推论，那样自然就不免犯许多巨大的错误了。例如他认为在月球以上的天体永恒不变，而且它们全部都是“自然地”在作永恒圆周运动；或者宇宙的空间有限，但时间则无限，也就是不可能有开始和终结；还有他的最根本，也最得意的所谓“四因说”，以及地面上的运动与天体运动是根据截然不同原理，地上物体的“非自然”“剧烈运动”必然是由于始终与之接触的推动者所造成，等等，皆属此类。

他曾经企图修订尤多索斯的系统，因为他认为系统中的同心球面不应该仅仅视为数学构造，而应该视为实在的物质性结构。但这样一来，与不同星体有关的不同球面就会彼此产生干扰，为了消除这些干扰，也就是使得分属不同星体的各组球面可以独立运作，他认为需要在每一组球面以内增加同样一组完全相同，但是作反向运行的“消旋”球面——唯一不必“消旋”的，是和恒星运转相关的，即最外面的球面，因为对于所有星体它都是同样需要的。但很显然，这样所得的构造比以前繁复了许多，然而至终结果还是和尤多索斯原来的系统没有任何分别，它之没有积极意义是很显然的。

在天文学上他对后世影响最大的，是大家熟悉的“地心说”：即地是球形，居于宇宙的中心，而且完全不移动或者转动，宇宙最外面是一个实体性的球面，恒星牢牢地镶嵌在上面，所以它们的运转是完全一致的。他为这些观念提出了各种在当时看来相当强有力的证据，例如地球的转动或者移动必然会使抛高然后坠落的物体偏离其出发点，等等，并且为地球为何居中不动提出了理由。这些对于赫谢塔、厄番图和赫拉克里德斯的地球自旋说无疑产生了遏制作用，但“地动说”并没有就此歇息，它在随后的世纪还会继续出现。最后，亚里士多德还记载了“数学家”对于地球周长的估计是40万“斯塔德”（stade），大约相当于8.1万公里，比实际数值大一倍左右，也就是得到了正确的数量级。可惜的是，他完全没有记载此数值是由什么人以及如何估算出来。这是人类初次对庞大天体作出切

实数量估计，是十分难能可贵的。

这样，到了公元前3世纪末年，主要由于尤多索斯在几何学和天文学上所取得的突破，希腊科学不但累积了大量知识和建立起深厚传统，更已经发展出系统性的新方法。西方第一次科学革命可以说已经完成，处于飞跃发展的前夕了。随后亚历山大城“学宫”就为它的跃升提供了跳板。

七、学园传统的延续

柏拉图是天才哲学家，在学园中他鼓励、推动数学发展，但自己不一定直接参与；在哲学上他也同样保持开放态度，并不开宗立派，甚至不树立门户。因此在他之后，学园弟子就呈现分歧，各向不同方向发展。

学园的传承

柏拉图在公元前347年以八十高龄辞世，学园校长由侄儿斯彪西波（Speusippus，约公元前410—前339）继任，这不仅由于他年资最长，而且似乎也有继承家族财产的意味。再下一任校长塞诺克拉底（Xenocrates，约公元前395—前314）则来自小亚细亚，也是最后一位亲炙过柏拉图本人的弟子。他任期不长，但据说曾经教导过芝诺和伊壁鸠鲁（Epicurus）这两位重要哲学门派的开创者。上述两位传人大体上仍然依循柏拉图的整体哲学方向，而且毕派色彩也相当浓厚，塞诺克拉底很可能还是该派信徒。但在他们之后，学园风气就逐渐改变了：继任校长普勒模（Polemo，公元前356—前276）在位将近四十年（公元前314—前276）之久，以道德探究与实践知名，可以说已经偏离毕派—柏拉图传统。在他之后数年阿卡西劳斯（Arcesilaus，公元前315—前241）成为第六任校长，当时讲求理性、节制的斯多葛学派（Stoics）如日中天，在其巨大的压力下，学园遂转向怀疑论，可以说背离柏拉图哲学了（见§6.3）[1]。因此，柏拉图之

---

[1] 关于柏拉图之后大半个世纪的学园亦即所谓“早期学园”（Old Academy）状况，见狄伦的《柏拉图的传人：早期学园研究》，即 Dillon 2003。

后的学园只是在其初继承他的哲学，至于其科学传统则主要是通过亚里士多德的学堂和像尤多索斯等其他数学家所继承的。

另起炉灶的亚里士多德

柏拉图逝世的时候，来自斯塔吉拉（Stagira，位于色雷斯）的亚里士多德（Aristotle，公元前384—前322）在学园学习和任教已经20年之久。但他名声虽高，在雅典却是无权拥有财产的“外乡人”（metic），所以不可能出任园主。况且，他和迅速崛起中的马其顿关系极其密切，他父亲就是老王阿敏塔斯（Amyntas，即当时国王腓力之父，亚历山大大帝的祖父）的御医，这家族关系深刻影响了他的一生。首先，当时马其顿和雅典在对峙中，实际上已濒临战争边缘，在此形势下他被迫离开雅典，到小亚细亚西北角的小邦讲学。其次，四年后他被召到马其顿，成为少年亚历山大的导师。第三，亚历山大登基成为希腊诸邦盟主并且开始东征之后，亚里士多德的好友安提伯特（Antipater）成为希腊摄政，这使他得以载誉返回雅典，并在吕克昂（Lyceum）开办学堂，建立他的“逍遥学派”或曰“漫步学派”（Peripatetics）。最后，在亚历山大大帝猝逝之后，希腊诸邦群起反叛马其顿，他因此再度被迫离开雅典流亡，一年之后即郁郁以终。

不但如此，而且相传他父母都是医药神阿斯克勒庇俄斯（Asclepius）后裔，这家族医学传统对他的观念、学问也有决定性影响。他虽然对天文学和物理学有大量论述，但真正兴趣其实是在生物学、自然史等实证性和资料性科学。特别是，他认为静态的，注重严格推理的数学与现实世界无关；他的哲学强调变化、发展，以目的论（teleology）为核心，这大概都可以追溯到家族医药传统的潜移默化。这样，很自然的，他对毕达哥拉斯学派以及乃师柏拉图虽然都保持尊敬，但关系却绝非亲密无间。恰好相反，他是有意识地要以客观态度来论述、审视乃至评论他们。柏拉图的理念说是其哲学的根本，但他对此持全面批判态度①；在《形而上学》等篇章的各家评论中，他更颇为不客气地批评毕派，认为其学说只着眼于结构

① 有关此问题的部分讨论见 Guthrie 1962 - 1981，vi，pp. 243 - 246。

和生成，而不能解释运动和变化；他更一针见血地指出，事物的理念不能够和数目等同①。这样，在追求理念和绝对的毕派—柏拉图哲学以外，出现了直接面对和探究自然现象的亚里士多德哲学——它彻底的理性和务实精神对于毕派和柏拉图之过分信赖直观和想象力不啻一服清凉剂。因此，从亚氏开始，更严格的理性精神兴起，毕派的数目神秘主义受到怀疑和批判，柏拉图—毕派阵营和亚里士多德之间，也就逐渐形成两个壁垒分明的学派和传统。

在雅典与亚历山大之间

亚里士多德第二度被迫离开雅典之后，弟子特奥弗拉斯特（Theophrastus，公元前371—前286）接任了吕克昂学堂校长。他才干出众，深得雅典民众尊敬，同时也是一位卓越的植物学家，其著作直到近代仍然受重视。此后接任校长的物理学家斯特拉托（Strato）是其弟子，他和同门的德米特里（Demitrius）都是亚历山大城“学宫”（Museum）的创始者，他自己更是亚历山大机械学传统的始祖。因此，如下一章所将论述，“逍遥学派”是学园和学宫这两个最重要古代学术机构之间的桥梁。亚里士多德哲学在中世纪的伊斯兰世界和欧洲世界都占主导地位，其影响巨大无匹，在相当长时期甚至远远超过柏拉图，其原因除了他浩瀚无涯的大量著作以外，也可能与此桥梁作用有关。当然，除了“逍遥学派”以外，还有另一位数学家也同样在学园和学宫之间对科学传承发生决定性作用，这就是欧几里德：他是我们所知唯一可能是来自学园，而将希腊数学移植于学宫的人物。除此之外，我们就没有任何其他线索了，因为尤多索斯和他下一辈学生如门纳木、狄诺斯特拉图斯，乃至更晚的克利普斯等，从年代上看来都没有可能充当这桥梁角色。我们只能够承认，除了“逍遥学派”和欧几里德以外，学园和学宫之间倘若还有任何其他联系，它似乎都已经为历史所隐藏起来了。

---

① *Metaphysics* 985b23 – 986b8, 989b30 – 990a32, 1090a16 – 1090b32.

第五章　希腊科学的巅峰

希腊科学萌芽于雅典，开花结果却在亚历山大城，我们今日称颂为“希腊奇迹”者就是亚历山大科学，它是与欧几里德、阿基米德、阿里斯它喀斯、喜帕克斯等名字牢牢地联系在一起的。科学中心从雅典转移到亚历山大是由剧烈的政治变动所造成。在第一次科学革命发生之后不足半个世纪，马其顿的崛起结束了希腊城邦政治，亚历山大大帝的东征摧毁了从东地中海沿岸以至波斯、阿富汗的民族藩篱，从而将希腊文明散播到一个比以前庞大不知多少倍的地区。他死后帝国分裂为三部分：部将中最有雄心与远见、文化意识也最强烈的是立足于埃及的托勒密。在他锐意经营和广事招揽人才的政策下，从公元前3世纪开始，希腊文化重心就逐步从雅典转移到尼罗河口的亚历山大城，托勒密王室所建立的学宫（Museum）也继学园与吕克昂学堂之后，成为西方世界的学术中心。

亚历山大是直接继承雅典学术传统的：学宫创办人来自吕克昂学堂，奠定亚历山大数学传统的欧几里德很可能来自学园，学宫图书馆长和天文学家埃拉托色尼（Eratosthenes）曾在雅典求学，并深受柏拉图思想影响。不过，亚历山大和雅典的学术气氛大不相同：雅典是以市民为主体的城邦，学术背后的推动力量是个别学者；亚历山大是王国都城，学宫是王室凭藉巨大财富、权力、威望来设立和长期资助的庞大学术机构，学术发展因而获得比以前更为优越和稳定的环境。在此环境中，科学逐渐脱离孕育它的母胎，即毕氏教派与柏拉图学派的神秘色彩；继续推动它前进的，变为从宗教独立出来的重智精神。这个转变可能源于学宫与吕克昂学堂的密

切关系，特别是后者的实证与物理学传统。这样，毕氏教派的影响力似乎未能伸展到亚历山大。在公元前3—前2世纪它沉寂下来，甚至好像消失了——虽然它的生命其实远远尚未结束。

托勒密王朝最初一个半世纪（约公元前300—前160）是亚历山大的黄金时代，在此时期新普罗米修斯革命所奠定的理性基础被发挥到极致，西方古代科学因此攀上巅峰。它的成就大抵可以从两方面看。一方面是几何学，这以欧几里德的集大成之作《几何原本》为开端，以阿基米德的几何度量和阿波隆尼亚斯的圆锥曲线研究为主要成就。他们的探究其实已经接触到解析几何学与微积分学范围，但由于缺乏符号代数学工具，因而无法继续向前迈进。亚历山大科学的另一面是将几何学精神应用到自然现象上去，从而有高度精确的科学理论出现。这其中最重要、成就最辉煌的，无疑是阿基米德开创的静力学，包括液体静力学，那即使在今日都还完全能够成立；在天文学上阿里斯它喀斯（Aristarchus）、埃拉托色尼和喜帕克斯的天体测量是开创性工作，“均轮—本轮”天体运行模型的初步发展则是超越尤多索斯的重大进展。除此之外，西方的几何光学传统是从欧几里德与阿基米德开始（但光学本身应该说是从亚里士多德开始），与天文学结合的地理学传统则是从埃拉托色尼和喜帕克斯开始；而且，以斯特拉托为开端，亚历山大还发展出很强的机械学传统。最后，我们还应该提到，在数理科学以外，亚历山大还有极为活跃的医学传统，它上承希波克拉底（Hippocrates of Cos），下开盖伦（Galen），而且，西方的解剖学和生理学传统就是由希罗菲卢斯（Herophilus，卒于公元前260至前250年间）和伊拉希斯特拉斯（Erasistratus，生于公元前304）在亚历山大所开创的①。因此亚历山大科学虽然以推理为基本精神，但它同样有高度实证的一面。

一、从雅典到亚历山大

古典希腊发展出灿烂文化，但它在政治与军事上的崛起则是通过马其

---

① 见 Fraser 2001，i，pp. 338－376 的详细讨论；Lindberg 1992，pp. 119－124 对此亦有简单综述。

顿，而马其顿能够一统希腊世界乃至古代西方世界是非常令人惊讶的。这可能与三个因素有关：首先，是希腊城邦之间无休止的合纵连横，相互攻伐已经将近一个世纪（约公元前430—前340），它们不能够通过平等联盟形式而建立更广大的稳定政治体已经很明显，因此实行开明君主制的马其顿获得建立“霸主”（hegemon）地位的机会。其次，在抵抗波斯以及相互争战的两个多世纪间，希腊诸邦发展出了先进军事技术，包括精良武器、搏击技术，以及练兵、行军、布阵、攻守的战术和策略。腓力二世（King Philip II，公元前382—前336，公元前359年称王）在滞留底比斯邦（Thebes）充当人质的时候吸收了这些技术，它们因而传入马其顿，他的继承者亚历山大东征时即充分显示其威力。最后，也许是最重要的、以政治、外交、军事才能而论，腓力和亚历山大都是不世出的绝顶天才，马其顿能够在大约三十年时间从北方蛮族的蕞尔小邦一跃为整个西方世界霸主，与这父子两位天才恐怕有莫大关系。但整体而言，马其顿虽然处于北方边陲，却仍然是希腊文明的一部分，并且以此自居。它之称霸西方世界，应该说是希腊文明发展到极致之后其力量爆发的表现。

马其顿的霸业

希腊城邦政治有很长的发展历史，它的转机可以追溯到雅典打败波斯入侵大军（公元前480），从而建立雅典军事联盟，成为诸邦霸主，并且强迫各邦接受其民主体制和分担其庞大舰队的费用，也就是联盟逐渐演变为帝国。这至终导致它与斯巴达的伯罗奔尼撒战争，而以雅典失败和签订城下之盟告终。此后斯巴达、雅典和其他城邦所组织的联盟互争雄长，纷争战乱始终不息，由是给予北方的马其顿兴起之机。

在公元前338年，亦即柏拉图去世之后大约十年，马其顿雄才大略的腓力二世打败雅典联军，建立以他为霸主的全希腊联盟，希腊诸邦自此失去独立政治地位，并且在经济文化上逐渐衰落。两年后腓力二世被刺，儿子亚历山大（Alexander the Great，公元前356—前323）登基为王。这位亚里士多德的高足虽然年方弱冠，但已经以勇士阿喀琉斯自况。他随即开始东征（公元前334），横扫小亚细亚、巴勒斯坦、埃及、两河流域，击

溃和征服宿敌波斯帝国，然后长驱深入，直抵印度，这才为厌倦征尘的将士苦苦劝阻而回归。这次东征虽然历时只短短十年，但在万里转战之中，他所到之处不忘建城、屯兵、设守，广为散播希腊观念、习俗、体制，由是彻底改变西亚和南亚的文化面貌。征服埃及（公元前331）之后，他在尼罗河三角洲西端所建立的亚历山大城（Alexandria）后来发展成为地中海的国际大都会和文化枢纽，历1500年不衰，那更是对后世影响极其深远的重大贡献[①]。

漂浮的托勒密王国

亚历山大大帝在东征归途中以壮年猝崩于巴比伦（公元前323年），因此完全未曾考虑继承事宜，甚至也没有机会认真安排后事[②]，他所建立的空前庞大帝国因此为亲近将领分拆为三个后继政权，即立足于埃及的托勒密（Ptolemy）王国，立足于中东和小亚细亚的塞琉西（Seleucid）王国，以及雄踞马其顿和希腊本土的安提柯（Antigonid）王国，它们延续了将近三百年，直到公元前1世纪末才为罗马帝国所灭[③]。

托勒密是亚历山大大帝的童年伴侣、亲信和心腹大将，也是个有雄才大略的人，他就是后来被加尊“救主”称号的托勒密一世（Ptolemaios I Soter，公元前306—前283）。在大帝崩逝之后，他并不如其他将领忙于争夺马其顿的控制权，却占领人口众多、物资富庶的埃及，埋头建设亚历山大城并且定都于斯，由是奠定托勒密王国的基业。其实，远在公元前7世纪，希腊的米利都商人就已经在尼罗河三角洲西端建立了诺克拉提斯（Naucratis）这个贸易据点，后来法老阿莫斯二世（Ahmose II，公元前570—前526）赐予希腊人管理该城以及垄断贸易的特权，所以有不少希腊商人和殖民者对于埃及的言语、地理、风俗、宗教获得了解，对于如何以少数行政官员管理大量当地民众也有丰富经验。亚历山大城可以说是诺

---

① 关于马其顿的崛起与亚历山大东征，见 Hammond 1986，Bk. VI。

② 由于流传的史料相互矛盾，而且都不那么可靠，所以他猝逝的真相至今不明：中毒、急病和酗酒都有可能，但也各有重大疑点。

③ 托勒密王朝以及其他两个亚历山大后续帝国的历史和文化发展见 Peters 1972，Ch. 1 -7。

克拉提斯的扩大翻版，而托勒密王国则是他们在埃及地位之反客为主。从长远来说，这其实是非常不容易的，因为“托勒密，他的朝廷、士兵和代理人所赖以生存的亚历山大，其实是漂浮在浩瀚无涯的埃及大海中的一个希腊化岛屿，它从周围可以得食糊口，却得不到生根发芽所需的滋养”①。因此，托勒密的统治策略非常深谋远虑：一方面建立紧密的希腊人统治阶层，通过他们紧紧控制整个行政管理系统和军队；另一方面则如历来许多外族统治者一样，刻意神化自己成为法老王，借以维系埃及民众的敬仰和尊崇。为了促进宗教融合，他更奉祀埃及本土的塞拉皮斯（Serapis）神②，从希腊的黑海殖民地锡诺普（Sinope）请来了具有希腊神祇形象（而非如一般埃及神像的动物形）的雕像，以将塞拉皮斯和希腊的狄奥尼索斯（Dionysus）与冥王（Pluton）认同，其后更为它建造神庙，即所谓“Serapeum”，它后来遂发展成为兼具埃及与希腊特色的亚历山大神祇。此外他也同样注意舰队与海外发展，出兵占据小亚细亚西南岸、科斯岛、巴勒斯坦等地中海周边地区，由是为其海外商贸（这是以出口谷物和其他农产品为基础的）建立具有多个据点的网络。继承托勒密一世的，是号称“爱兄”的二世（Ptolemaios II Philadelphus，公元前 283—前 246）和号称“惠施者”的三世（Ptolemaios III Euergetes，公元前 246—前 221），他们同样才略过人，雄心勃勃，四方延揽人才。所以公元前 3 世纪成为王朝的黄金时代，在此时期亚历山大学术发展也同样登上高峰。

缪斯神庙和吕克昂传统

缪斯（Muses）相传是宙斯大神与记忆女神（Mnemosyne）合生的九位女神，她们分掌历史、天文、音乐、舞蹈以及史诗、圣诗、爱情诗歌、悲剧、喜剧等五种文学，所以合称文艺女神。供奉她们的祭坛、庙宇则称为“缪斯神庙”（Museum），那在希腊各城邦相当普遍，而且往往与文社

---

① Peters 1972，p. 153.

② 这本是埃及牛神（Apis）和冥神（Osiris）的混合体，经托勒密王朝最初两位君主在亚历山大奉祀及推广之后，此一高度混合（syncretic）之神祇散播到孟菲斯和其他各地，并逐渐演变为主医药之神。其详细源流和发展历史，见 Fraser 2001，i，pp. 246 -276。

所举办的诗歌、戏剧观摩、比赛相结合，可以说是希腊文艺的标志。事实上，柏拉图学园和吕克昂学堂虽然以发扬哲学为主，但也同样供奉缪斯，而且无论在组织或者日常活动上都带有浓厚宗教意味。托勒密一世和二世在公元前 3 世纪上半叶所建立的“Museum”就是继承此神庙—学堂传统的。不过，它位处亚历山大城王宫范围内，除了供奉、祭祀缪斯的宗教场所以外，还有图书馆、演讲厅、食堂、散步论思的回廊，乃至观测天文的观象台以及学者寓所等等，因此在构思、体制、规模上远远超出一般神庙。那也就是说，实质上它已经是一所完善的学术中心，所以称之为“学宫”应该比“缪斯神庙”更为恰当①。

托勒密父子富有才略和雄心，他们花费大量资源与精力创办学宫，无疑有发扬先进希腊文明，借以树立威望，潜移默化埃及民众，从而巩固埃及这庞大国度的统治之意。但建立学宫的灵感、动力与具体构思，则来自希腊本土，特别是亚里士多德的吕克昂学堂。这与亚氏的继承人，亦即学堂第二任校长特奥弗拉斯特的两位弟子德米特里（Demetrius of Phaleron，约公元前 345—前 283）和斯特拉托（Strato of Lampsacos，约公元前 340—前 270）有密切关系②。德米特里是雄辩家和政治家，在亚历山大大帝继承权战争的混乱局面中曾经担任雅典的独裁执政达 10 年之久（公元前 317—前 307），以迄被逐和流亡埃及。随后他获得托勒密一世的宠信，不但亚历山大的民法可能与他有关，而且创办学宫的意念也同样可能由他倡议；至于其组织、设置，特别是其大图书馆的建立，则应当是他在王室力量支持下，以吕克昂学堂为原型而设计和实施。德米特里著作繁多，藏书丰富，不幸的是，他涉入托勒密王朝的继承斗争而选择了失败一方，因此在新君即位后，即被囚禁并以毒蛇处死，或曰染疾而终。

学宫体制与机械学传统

至于斯特拉托却是一位博学的自然哲学家，他由乃师推荐出任托勒密

---

① 学宫及其图书馆的历史和状况在 Sarton 1959，ii，Ch. 2 有简要综述；但更为详细和严谨的讨论，则见 Fraser 2001，i，Ch. 6，此章对于所谓 Museum 的历史、沿革有详细讨论。

② 这三位学者在第欧根尼书中都有传，见 Diogenes Bk. 2，V. 3，V. 5。

王储师傅（约公元前300—前294），在亚历山大城逗留十余年，以迄前288年返回雅典出任吕克昂学堂第三任校长。他发展了已经非常接近现代观念的真空理论，即绝对真空只存在于原子之间，以及大体积中的真空实际上可以用机械方法产生。这些观念通过特西比乌（Ctesibius of Alexandria，约公元前285—前222）及其弟子费隆（Philon of Byzantium，约公元前280—前220）而形成亚历山大的强大机械学传统，那包括气体力学（pneumatics）、流体力学（hydraulics）、弹道学（ballistics）、投石机（catapult）设计和制造等等，它一直延续到公元前1世纪的数学家和机械学家赫伦（Heron，见§6.2）。费隆所撰将近十卷的《机械手册》（*Mechanical Handbook*）有部分流传后世，它是关于围城攻防技术的专书，强调实验和刻度对发石机的重要性，并且证实这种工作是依赖王室资助进行。除此之外，斯特拉托又是著名天文学家阿里斯它喀斯的老师，他因此在后世记载中被称为"物理学家"（physicist）。学宫后来以数学、天文学和实证科学著称，而没有如学园那样只专注于数学、哲学和形而上学，甚至还突破阿基米德的纯理论倾向，开展了将科学与应用技术结合的新传统，那无疑与斯特拉托在学宫酝酿之初的广泛影响有密切关系[①]。由于德米特里和斯特拉托对学宫在体制以及学术上的深远影响，学宫实在可视为吕克昂学堂传统在亚历山大城的延续。

不过，我们对于学宫的建制和历史所知其实不多：它大致是托勒密王朝最初两位君主在上述两位学者的协助下，用了差不多半个世纪建立起来[②]；它的图书馆应该有书库、阅览室、编目室、抄录室（scriptorium）等不同部分，但大概并非另有独立建筑，而是附属于学宫的设备；至于藏书方面，由于王室不惜花费广事搜购，务求种类、版本完备，所以在全盛时期据说曾经达到50万册之谱。在此可以顺便提到，稍后建立的塞拉皮神庙也同样有附设图书馆，它的藏书据说达9万册之谱。在学宫里面工作

---

① 亚历山大科学发展与成就有以下专章作一般性讨论：Fraser 2001，i，Ch. 7；至于其机械学传统，以及斯特拉托、特西比乌、费隆等的贡献，则见同书pp. 425－434。

② 关于学宫及其图书馆，见Fraser 2001，i，pp. 312－335。

的学者估计有五六十位之众，除了科学家以外，从事文艺注疏、考证、研究的当也为数不少，其中最著名的如诗人卡利马克（Callimachus of Cyrene，公元前305—前240）可以说是托勒密二世的祭酒，他的大量著作成为希腊文学史的基础，而学宫图书馆的详细目录也由他完成编纂。学宫学者可能礼聘自各地，但也有不少是慕名来访，出自亚历山大本地的恐怕只是少数。就科学家而言，大抵数学家的流动性比较大，像阿基米德就在访问后回归本城，但天文学家需要观测设备和人文学者需要图书馆一样，很自然地会和王室、学宫产生长期密切关系，像阿里斯它喀斯和埃拉托色尼都是明显的例子。

二、欧几里德：承上启下的大师

在公元前3世纪作为古希腊理性精神代表的几何学达到了巅峰，这主要是学园所建立的强大传统继续发展所致，但亚历山大城和学宫所创造的环境无疑也有决定性影响。这一时期主要数学家一共有三位：集雅典数学大成，起承上启下之功的欧几里德，他来自雅典，是否长期逗留亚历山大不得而知；应用归谬法将度量几何学发挥到极致的阿基米德，他来自叙拉古，其后又回归本城，但和亚历山大学者保持密切联系；研究圆锥曲线精细入微的阿波隆尼亚斯，他来自小亚细亚南岸，后来在亚历山大留下。他们的成就都不限于数学，不过方法和精神还是以几何学为核心，即是将其推理模式应用、扩展到自然现象上去。

在这三位大师之中，欧几里德辈分最高，大约与德米特里、斯特拉托同时，但弟子中没有著名人物，阿基米德与阿波隆尼亚斯都属于欧几里德徒孙辈，活跃在公元前3世纪后半叶，因此在公元前270—前250年间，数学上有一段空白时期。那也就是说，欧几里德的影响主要是通过他的作品而非讲授。不过，斯特拉托的学生阿里斯它喀斯以天文学著名，其方法也深得几何学的推理精神，就年代而言他刚好嵌入上述空白时期，但是否曾经受教于欧几里德则无从考证了。

欧几里德的贡献

我们对欧几里德（Euclid，约公元前330—前270）本人所知极少，只能够从普洛克鲁斯的简短叙述知道，他的年代介乎尤多索斯和阿基米德之间，也就是活跃于公元前4世纪至前3世纪之交；以及他深深服膺于柏拉图哲学，又曾经面觐托勒密一世，说出“几何学没有（平坦简易的）王道”那句名言，所以被认为是公元前300年前后人物，这年代也就成为雅典与亚历山大，学园与学宫科学的交会点。欧几里德很可能是从雅典迁徙到亚历山大城的学园弟子，也就是将学园数学传统移植于学宫的枢纽人物，但这想法虽然顺理成章，也仅属猜想而已①。

我们真正认识欧几里德，是通过他影响后世长达两千年以上的巨著，十三卷本的《几何原本》（*Elements*）②。和一般印象相反，它既非纯粹几何学著作，也不是初级教材，更非原创性专著。它其实是将前此所有已知数学成果加以编纂，并且纳入同一逻辑结构的集大成之作。因此书名倘若翻译为《数学原理》可能更为贴切。事实上，普洛克鲁斯用了不少篇幅讨论书名“Elements”的意义，他认为这是指那些基本而必不可缺少的数学元素，从之可以通过推理而获得其他定理的；换而言之，书名所强调的，是其整体逻辑结构。而毫无疑问，欧几里德此书最重要的贡献，就是将前此许多数学家以不同方式、不同途径所得到的推论、定理、结果，以相同结构熔铸于一炉，使之形成浑然整体——最少，这是他的目标和理想。他这理想不但深深影响了后世数学，也同样影响了西方科学。科学并非许多不相干的事实、观念、知识的集合，而是一个具有逻辑结构的系统，在其中基本观念、原理、推论、观测结果各有固定位置，并且是通过逻辑与数学严格地联系起来的——这样的理想首次在《几何原本》中得

---

① 有关欧几里德的论述，主要见 Heath 1965，i，Ch. 11，以及希斯为《几何原本》所作的长篇导言（见下注）。至于普洛克鲁斯的论述，则见 Proclus/Morrow 1970，pp. 68－69。

② 此书最完善的英译本是希斯（Thomas Heath）所翻译的三卷本，它附有详细导言，每章附有分析和注释，见 Euclid/Heath 1956；现代中译本有《欧几里德〈几何原本〉13卷》（陕西人民出版社，1990）。

到实现，而这个范式在后世科学作品不断重现（虽然也不断被修订），以迄牛顿撰写《自然哲学之数学原理》也仍然有意识地以《原本》为模范。事实上，现代科学的整体结构也同样是反映这个理想的。从此观点看来，《原本》可以说是第一本具有现代科学性质的著作。

《几何原本》的逻辑结构

那么，《几何原本》的结构到底是怎么样的呢？它第一卷开宗明义，列出了23条“定义”（definition）；跟着是5条“公设”（postulate）；然后再有5条“共同观念”（common notion），也就是“公理”（axiom），这三者构成了全书的理论基础；最后则是48道“命题”（proposition），那可能是“定理”（theorem），也可能是问题（problem）：每一道命题都是先叙述最终结果或者要求，然后给出证明或者解决方法，那是根据上述定义、公设、公理，以及先前已经证明过的命题而逐步推论，以迄得到命题本身的过程。第二以至第十三卷的结构与第一卷相同，但它们并没有另外的公设和公理，而只是因应新题材而设立新定义，并且在证明过程中应用前面已经证明过的命题。换而言之，全书总共将近五百道命题都是根据10条公设和公理以及相关定义推断出来，它们形成了一个庞大而严密的逻辑结构。当然，对于本书读者而言，这一切并不新鲜：它是每一个受过现代教育的人都学习和反复练习过，因而感到十分熟悉的事物。因此，说来惊人，这本距今两千三百年的著作，今日仍然在提供和影响现代人的共同思维模式。

不过，《原本》也不能说完全达到了欧几里德的理想，这既有实际的、技术性的原因，也还有更深刻的、本质性的理由。就实际结构而言，此书是编纂多种资料，包括许多更原始的《原本》而成，欧几里德或者是为了节省精力，但更可能是为了保存许多名著的本来面目，而没有将所有命题用最简捷的方法重新证明一遍，或者将重复的、意义相同的命题删去。最明显、也最重要的例子有两处：首先，相当于解决二次方程的几何学方法重复出现于卷二命题5—6，以及卷六命题27—29；其次，卷五有关“量”（magnitude）的比例理论和卷七有关“数”

(number) 的比例理论其实相同，因为数其实是量的一种。这不免有叠床架屋之弊，但对科学史家来说却很幸运，因为它由是为历史发展留下了难得的宝贵资料——例如，卷五和卷七就被认为其实是分别属于尤多索斯和毕达哥拉斯学派两个不同的传统。除此之外，书中某些定义仍然有欠周全和考虑。但更深层而重要的问题则是，欧氏的逻辑结构也还不完备。例如，他并没有列出所有不可定义的基本观念，更没有意识到著名的第五公设（平行公设）并非必然，亦即不可变易的。此问题历代不乏研究者，但要到18—19世纪才逐渐为数学家所明了和解决。这样，一直要到20世纪前夕，数学大师希尔伯特（David Hilbert）才初次重新全面整理几何学系统，使得它更为简洁和严格[①]。然而，20世纪初以罗素（Bertrand Russell）为主力的数理逻辑运动却终归于失败，也就是说，数理逻辑并不能够替代传统数学的论证方式，也不能够为它提供更清楚、牢固、没有争议的基础[②]。这也就显明，欧几里德当年的思虑是如何深远，如何经得起考验了。

最后，也还得强调，不但《几何原本》的内容并非全部原创，即使是它的严谨推理形式也不一定是欧几里德所发明。目前公认最早的传世古希腊数学著作是奥托吕科斯的《论天体运动》(*On Moving Spheres*)，这当是公元前4世纪末，属于学园时代的作品（见下文），而它已经采用和《原本》相同的推论方式了。因此数学证明的观念和方法当同样是泰阿泰德、尤多索斯等公元前4世纪数学家酝酿、发展和逐步建立的系统，虽然其过程已经无从稽考了。

一体结构下的三个传统

作为公元前6—前4世纪希腊数学成果的汇编，《几何原本》在表面的一体化结构之下，很清楚地显示它包容了最少三个无论在目标、方法、

---

① 见 Hilbert 1902。

② 有关此运动的简述，见陈方正：《在科学与人文之间——理性的成功、限度与蜕变》，载《科学文化评论》创刊号（北京 2003），第35－71页。

来源上都不完全相同的传统。首先，最强大、丰富、历史悠久的，是几何学传统；其次，是毕达哥拉斯学派的数论传统。这两部分都与上一章所讨论的数学革命有密切关系。第三，则是我们在第一章讨论过的巴比伦“几何代数学”传统，这部分所占分量不多，但它所显示的学术渊源则很重要。换而言之，全书内容包括了古代数学的全部，即几何、数论（包括整数及无理数理论）以及代数三方面，虽然后两者的问题有相当部分仍然是以几何量，亦即长度或者面积来表述，其解决也同样是以几何推理方式获得。在这个意义上，古希腊数学可以说是全面几何化的，此书名称翻译为《几何原本》也就不为无据了。以下我们根据上述三部分的划分，将全书13卷的内容及其可能的原作者或者来源列成简表。

从表5.1可以清楚地看到，《几何原本》不但保留了三个不同数学传统，也保存了希腊数学的进化痕迹以及它们之间的融合过程。例如在几何学里面，我们可以见到从早期以希波克拉底为主要推动者的平面几何学，发展到泰阿泰德的立体几何学，然后再到尤多索斯更为严谨的比例理论和归谬法，以及此方法之应用于弯曲形体测量。表中还显示了在此进化过程中不同传统的融合：例如，巴比伦几何代数学不但保留在第二卷，特别是其命题1—10的代数恒等式之中，同样也出现于第六卷的二次方程通解。有迹象显示，这个巴比伦传统的移植过程是在公元前5世纪初，即毕达哥拉斯的时代发生的[①]。又例如，第七至第九卷的整数数论其实与几何学并没有直接关系，它最可能的来源是毕达哥拉斯学派传统，但有多少可以归于毕氏本人则很难说。至于内容最丰富而繁复的无理数论，即第十卷，则很可能由毕派的希帕苏斯开端，后来经过特奥多鲁斯的推进，最后才由泰阿泰德发展至极致，这在上一章已经详细讨论过。对于此章将无理方根作出那么细致的分类到底意义何在，一般的揣测是：第六卷的二次方程解法可能有实际应用价值，因此方根类别是否可以穷尽成为值得详细研究的问题。

---

① 这方面的详细讨论，见 Høyrup 2002，pp. 400 - 405，特别是 pp. 402 - 403。

表 5.1　《几何原本》的内容与渊源

<table>
<tr><th>卷数</th><th>内　　容</th><th>渊　　源</th></tr>
<tr><td colspan="3">几何学传统</td></tr>
<tr><td>1</td><td>基本定义、公设与公理；直线与三角；平行线；面积之等同</td><td rowspan="3">（A）平面几何部分：原作者可能为希波克拉底</td></tr>
<tr><td>3</td><td>圆形：弦、弧、圆心、直径、切线、对角</td></tr>
<tr><td>4</td><td>圆与内接以及外切多边形，包括正五边形问题</td></tr>
<tr><td>5</td><td>比例理论，适用于一切量者</td><td rowspan="2">（B）理论发展部分：原作者尤多索斯，但第六卷亦包含几何代数学，即巴比伦传统成分</td></tr>
<tr><td>6</td><td>比例理论应用于平面几何，包括相当于二次方程的通解（命题 27—29）</td></tr>
<tr><td>11</td><td>立体几何学的一般定义；直线形体</td><td rowspan="3">（C）立体几何部分，第十二卷原作者为尤多索斯，第十三卷原作者为泰阿泰德</td></tr>
<tr><td>12</td><td>以归谬法求曲面面积及体积</td></tr>
<tr><td>13</td><td>建构五种正多面体，并决定其与外接球面的关系</td></tr>
<tr><td colspan="3">数论传统</td></tr>
<tr><td>7</td><td>一般定义；最大公约与最小公倍数；比例理论之适用；素数问题</td><td rowspan="3">（A）算术及数论部分：主要来源当是毕达哥拉斯学派，第九卷命题 21—36（主要是奇偶数问题）更被认为是毕派教材。</td></tr>
<tr><td>8</td><td>级数；复比例</td></tr>
<tr><td>9</td><td>平方数、立方数、因子分解定理；素数数目无限定理；几何级数和；完整数之形式</td></tr>
<tr><td>10</td><td>无理数论：无理根的分类，可能应用于二次或双二次方程普遍解的分类和实际计算。此为诸卷中最长者。</td><td>（B）无理数论部分，主要作者为泰阿泰德</td></tr>
<tr><td colspan="3">几何代数学传统</td></tr>
<tr><td>2</td><td>代数恒等式（命题 1—10）；正方、长方与曲尺面积；完成平方以求解二次方程（命题 5—6）</td><td>巴比伦旧王朝的“几何代数学”</td></tr>
<tr><td colspan="3">后出的依附作品</td></tr>
<tr><td>14</td><td>立体几何：12 及 20 面体的比较</td><td>作者赫西克里斯，约公元前 190—前 120</td></tr>
<tr><td>15</td><td>立体几何：正多面体问题</td><td>作者 Isidore of Miletus，活跃于公元 532 年</td></tr>
</table>

其他著作

欧几里德虽然好像就等于《几何原本》，其实他在这本巨著以外还有许多其他著作。这包括：（A）四部传世作品：介绍初等几何学的《引论》（*Data*）；讨论在不同条件下如何分割平面图形的《图形分割》（*Division of Figures*）；涉及天体运动与球面几何学的《天象》（*Phenomena*）；以及作为最早透视法论文的《光学》（*Optics*）[①]。此外他还有（B）三部失传作品：《推论》（*Porisms*），那被认为可能是解析几何学的雏形；《面上轨迹》（*Surface Loci*），共四卷，那当是阿波隆尼亚斯《圆锥曲线》前四卷所本；以及讨论推理方法的《伪证》（*Pseudaria*）。

这些著作显示了他和其他学者、学科的关系，特别是他作为透视法、数理天文学和圆锥曲线研究前驱的贡献，同时也带来了一些意想不到的发现。其中最令人感到兴奋但又可惜的，无疑是他可能已经发展出解析几何方法，虽然这大概仍然只是以言语而非符号表达。另外一个发现则是巴比伦的几何代数学传统不但重现于《几何原本》，它也同样出现于上述的《引论》和《图形分割》两书：例如后者就包含了§1.5详细讨论过的以平行直线均分平行四边形方法。我们因此也更有理由相信，古希腊科学和两河流域的远古文明的确是有极深厚渊源的。

三、阿基米德：度量几何学

欧几里德是集公元前4世纪希腊数学之大成者，他的功绩在于消化、整理、建立系统；阿基米德则是具有无比旺盛原创能力的科学家，他不但将《几何原本》的推理方法与精神发挥到极致，同时更将之应用于静力学和许多其他方面，而且都做出了卓越贡献。

---

① 这四部著作都有英译本，见 Euclid 1991，Euclid 1996，Euclid 1999，Euclid 2003。

严谨与精妙的追求

阿基米德（Archimedes，约公元前287—前212）也许应该视为古代最伟大的科学家，因为他在数学（包括几何学与算术）、物理学、天文学、机械科学等各方面都有超卓成就，其严谨和精妙令人叹服，其重要性和价值也历久不衰。我们对他本人所知也不多，虽然比之欧几里德稍为详细一些。他是西西里岛叙拉古城天文学家菲底亚斯（Phidias）之子，和该城君主希伦二世（Hieron II）父子相熟，甚至可能有亲属关系。他基本上在叙拉古度过一生，并且在那里建立崇高声誉。但他曾经赴亚历山大城跟随欧几里德的弟子学习几何学，其后经常与该城学者书信往来，保持联系，与他同时的学宫图书馆长和天文学家埃拉托色尼是这些学者之一，《方法论》一书就是呈献给后者的。他晚年正值罗马与迦太基互争雄长的第二次布匿战争（见§6.1），当时西西里诸邦与希腊投向迦太基，由是引致罗马围困叙拉古两年之久。阿基米德的各种机械发明虽然对守城有极大帮助，最后城池还是不免由于内奸出卖而陷落，阿基米德不幸在乱军中被杀。关于此事有许多不同版本的著名故事流传，但真相已不可考（图版5）。

传世之作

阿基米德留下了足足十一部传世作品，包括属数学的九部和属静力学的两部，此外失传的也有七八部之多（表5.2）①。这些作品和《几何原本》不一样：它们都是原创性论文或者专著，所以篇幅简短，题材也高度专门。但它们基本上仍然跟随《几何原本》的形式，即以定义和“假设”（Assumptions，而不是公设或者公理）为起点，然后列出若干作为主要结果的命题，每一命题下面附以证明。当然，在这个基本结

① 阿基米德作品全集的标准英译本也是希斯所翻译和注释的，见 Archimedes/Heath 1912，它在书前附有译者的长篇导言；除此之外 Heath 1965，ii，Ch. 13 对阿基米德的生平、工作和著作有详细阐述和讨论。

构以外，它们也显示出相当的弹性，例如省却定义、假设，或者加上一般性的讨论或说明。除此以外，阿基米德每一部作品之前几乎都有相当于序言的长篇“献词”，从这弥足珍贵的第一手资料，我们可以推知不少他的交往与事迹，这就比无一语道及欧几里德本人的《几何原本》好太多了①。

表 5.2 阿基米德著作表

数学著作			
抛物线之面积	*Quadrature of the Parabola*	论球体与圆柱体	*On the Sphere and Cylinder*
论螺线	*On Spirals*	论抛物体与椭圆体	*On Conoids and Spheroids*
圆之测度	*Measurement of a Circle*	宇宙沙数	*The Sand-Reckoner*
引理汇辑*	*Lemmas*	数牛问题#	*The Cattle-problem*
方法论§	*The Method*		
物理学著作			
论平面形体之平衡	*On Equilibrium of Planes*	论浮体两卷	*On Floating Bodies*
失传著作			
论多面体	*On Polyhedra*	数名	*Naming of Numbers*
论天平或杠杆	*On Balances or Levers*	论重心	*On Centres of Gravity*
反射光学	*Catoptrics*	论天球之构造	*On Sphere-making*
历法	*The Calendar*		

* 仅以阿拉伯文传世；# 残缺，来源亦有争议；§ 20 世纪初方才发现。

不过，上述作品中最令科学史家感到兴奋的，却还是《方法论》的重新“出世”。此书遗失已久，直到 1899—1908 年间才由海伯格（J. L. Heiberg）在伊斯坦布尔一份公元 10 世纪的陈旧羊皮手卷上发现。它的重要性在于阿基米德其他作品都是“制成品”，其论证精严，无懈可击，但也抹除了一切研究、探索的痕迹，令人无法窥知他的思维过

① 关于阿基米德的这一面，在 Fraser 2001，i，pp. 399－409 有详细讨论。

程。此书却有如度人金针，它让我们知道，阿基米德在探究问题时有所谓“机械推理”方法，那和严格的“几何证明”不同：“此处提出的论点并不能证明所述结果；但它大体显示所得结论为真。既然定理尚未证明，但结论又可能为真，就得用到我所发现并且已经发表的几何证明（方法）了。”①

度量几何学与算术

从他工作的基本精神来看，阿基米德可以更准确地定位为一位“几何学家”（geometer），特别是“度量几何学”（metric geometry）专家，因为他的用心以及他最精妙的发现，都是与几何形体的度量，即其长度、面积、体积密切相关。他自己指定，在其墓碑要刻上一个为外切圆柱体包围的球体，借以纪念他发现这两个形体表面积之比与两者体积之比都是3/2。这个比例对他那么重要，因为它决定于球面面积为4π乘以半径平方这一重大发现，而他对自己一生工作的衡量也就尽见于此刻图了。

在阿基米德传世的九部数学著作之中，除了上面讨论过的《方法论》以外，《宇宙沙数》和《数牛问题》可能都是即兴或者游戏、竞赛之作：前者对宇宙可以容纳的沙粒数目估计为10^{63}，后者则提出了一条有八个未知数的不定方程，其中一个可能解也牵涉惊人的巨大数目。至于余下六部著作所探究的，则完全是各种几何形体的量度，这些包括：直线形体、圆圈、球体、圆柱体、圆锥体、圆锥曲线及其旋转体、螺线，等等。其中圆锥曲线、螺线等的研究已经远远超越《几何原本》的题材范围了。以现代数学的水平来衡量，这些工作基本上属于大学微积分课程的水平，好像不算很高深。然而，在两千两百多年前，它每一项成果都难能可贵，都是发挥绝顶智力的精妙之作。

这差距主要是由于古代缺乏代数与解析学方法，即符号算式、解析几何，以及微积分学（特别是其极限观念）等强有力现代数学工具所造成。

---

① Archimedes 1912/Heath, *The Method* pp. 17 - 18.

因此，阿基米德众多著作的每一道命题，例如“抛物线与任意割弦所包面积等于同弦并等高之三角形的4/3”，或者“（阿基米德）螺线第一回旋（即旋转整一圈后）所包面积等于以原点为心，以终点半径为半径之圆面积的1/3”①，其发现和证明都必须独辟蹊径——亦即先作相关积分运算以得所需结果，然后从基本原则出发，重新以归谬法严格证明其确实为所求量之极限：也就是说，每题都必须就某个特例重复证明积分学的根本定理。因此，我们不免觉得：做了那么多繁复困难的特例之后，阿基米德却仍然没有想到发明普遍的微积分方法，那委实很可惜。这应该是由于当时还缺乏最基本的代数记量符号所致吧。

由于度量的需要，阿基米德也做了非常精确的计算。他在《圆的测度》一书中严格证明（1）圆面积等于半径乘圆周之半；和（2）$223/71 < \pi < 22/7$。倘若取上下限的平均值，则这圆周率准确到大约万分之一，它是用圆的外切96边形和内接96边形来逼近圆周而求得的。刘徽和祖冲之父子所求得的值（分别准确到10^{-6}和10^{-8}）虽然更精密，但那已经是六七百年后，即公元250—450年的事情了。在上述计算中阿基米德还用到（但没有证明）$265/153 < \sqrt{3} < 1351/780$这一逼近公式，其中的两个极限接近真值到$10^{-5}$至$10^{-7}$左右，它们很可能也是反复应用类似于我们在第一章讨论过的巴比伦几何代数学方法得到的。

静力学

阿基米德不但是伟大的数学家，也还是第一位数学物理学家，他在这方面的成就完全是横空出世，没有前人基础可以凭借。他在澡盆中悟到物体在液体中所感受浮力等于其所排除液体之重量，因而忘形裸奔，大呼“Eureka！”（找到了！）的故事脍炙人口。然而，他并非就以此为基本原理，而是找到更为根本的液压原理，即在通连的液体中，同一水平位置的液体假如所受压力有差别就不会静止，但容器中深处的液体可受其上液体

---

① Archimedes/Heath 1912, pp. 246, 178–180: *Quadrature of the Parabola* Prop. 17 & *On Spirals* Prop. 24.

的压缩而不至移动。在《论浮体》一书中，他根据此原理（他称之为公设）证明静止的液面必然是以地球中心为中心的球面，然后阐述固体在液体中的浮沉和重量变化，包括上述浮力与所排液体的关系。跟着，他还详细地研究了置于液体中的球截体和正抛物截体（right paraboloid segment）在各种不同密度液体与起始状况之中，其对称轴的稳定取向。同样，在《论平面形体之平衡》中他提出了基本的杠杆原理作为公设，然后研究各种平面形体的重心，包括平行四边形、梯形、三角形、抛物截面（即抛物线与弦线围成的平面），等等，甚至包括两个抛物截面所形成的复合体之重心。可以说，在（包括固体和液体的）静力学方面，他基本上已经达到现代水平了。

古代科学的突破点

亚里士多德不但是和柏拉图争辉的大哲学家，而且对于大自然的研究雄心勃勃，其中一个主要领域就是物理学：physics（物理学）之名就是出自他众多著作之一的名称。然而很不幸，由于他深受目的论思想，特别是所谓"四因说"的影响，因此几乎他所有与物理学相关的观念、结论都是错误的，在后世都成为反面教材，他的权威地位也成为科学进步的最大障碍。阿基米德则全然不同：他所承受和醉心的是纯粹的数学传统。在此传统中所发现的静力学（包括浮体力学）完全经得起时间考验，成为古代自然科学最主要成就之一。除了理论以外，阿基米德也还有许多机械发明，包括利用杠杆和滑轮制成的起重设备、发石机、天体运行模型，以及螺旋水泵，等等，充分显示他心智之敏锐灵活。

如所周知，他深受古希腊重哲理玄思而轻实际应用的传统，把这些发明视为雕虫小技而未曾用心探究，这被认为是限制了当时科学视野与发展的一个因素。不过，这种看法其实是偏颇、不公平的。我们不可忘记，对于理论知识的热爱和追求，正是科学在萌芽阶段的最基本发展动力，倘若没有理论突破，亦即数学、静力学、天文学上的突破，以及相关理论形成的主流传统，那么其他一切都根本无从谈起。事实上这有个反证：16 世纪的文艺复兴诸艺术大师们正是以上天下地，数学理论和机械发明都无所

不究、无所不用心而著称，但他们的才华和博学尽管令人叹服，他们对当时已经呼之欲出的现代科学却并没有做出决定性贡献——把科学带入现代的，是具有完全不同追求的另外一批专业科学家，包括数学家和理论天文学家。这说明科学的突破和进步有赖于高度专注：即使是伟大天才也必须心无旁骛，忘情于一两个主要问题。阿基米德如是，爱因斯坦也不例外——其实他也有机械才能，曾经发明作潜水艇导航用途的惯性罗盘并且获得专利。

四、阿波隆尼亚斯：圆锥曲线

阿基米德无论在古今都是大名鼎鼎，才华与他相若的另一位数学大师阿波隆尼亚斯则寂寞多了，大概只有科学史家才会记起他来，这当是他的领域在当时太过专门和高深，一般人无法明白其中奥妙，只能够望门兴叹，而今日则又已经成为明日黄花之故吧。

圆锥曲线专家

阿波隆尼亚斯（Appolonius of Perga，约公元前262—前190）是小亚细亚南岸帕噶（Perga，今日土耳其Antalya）地方人。他和阿基米德一样，年轻时到亚历山大城跟随欧几里德的弟子学习，所不同者是他后来似乎不曾返回本城，而长期留在亚历山大城，和埃拉托色尼一同成为该城早期的主要科学家，但是否的确在学宫工作则无从断定。不过他似乎与托勒密王室并不接近：从献词可以得知，他的著作都是敬献给他曾经访问过的帕加马（Pergamum，在小亚细亚西岸）城邦的朋友。除此之外，我们对他可以说是几乎一无所知了①。

阿波隆尼亚斯毕生精力都集中在圆锥曲线研究上，他最重要的传世作

---

① 有关阿波隆尼亚斯及其工作的论述，见 Heath 1965，ii，Ch. 14；其主要著作《圆锥曲线》卷一至卷四，有 Taliaferro and Fried 的英译本，卷五至卷七有 Toomer 的英文—阿拉伯文对照本，分别见 Appolonius 2002，以及 Appolonius 1990；Toomer 在后者的导言中对于《圆锥曲线》的缘起、内容，以及版本源流有详细讨论。

品就是七卷《圆锥曲线》(*Conics*),其中最后三卷是借阿拉伯文译本方才得以流传,至于原有第八卷则已经失传。其实,以平面切割圆锥体可以得到抛物线、椭圆、双曲线等三种圆锥曲线是门纳木在公元前4世纪中叶发现的,到了公元前4世纪末阿里斯提乌(Aristaeus the Elder,约公元前370—前300)和欧几里德都已经发表过讨论此领域的专书,阿基米德也曾经发表有关抛物线和抛物体的论文,对于他来说圆锥曲线无疑是非常熟悉的几何形体。因此,到了公元前3世纪中叶,它的研究已经有整整一个世纪。这为阿波隆尼亚斯的工作奠定基础——也就是为他巨著的前四卷,亦即其比较初等的部分,提供了大部分原始素材。就《圆锥曲线》的这部分而言,他和欧几里德有点相似,也是集大成者。

然而,即使就前四卷而言,他的贡献也远远不止于编纂前人的成绩:对于圆锥曲线作全面、系统和深入研究,从而将其内在本质显明的,他是第一人。例如在他以前是以具有不同顶角的圆锥面来产生不同类型圆周曲线,而切割平面总是要求垂直于圆锥面上某一条直线,即所谓发生线(generator);他却以不同方向平面来切割固定的圆锥面,从而得到不同类型的圆锥曲线(图5.1);此外,他又将双曲线的两支视为同一曲线:这些在以后都成为标准作法和观点。但最基本的是,他展示同一条圆锥曲线可以有各种不同建构方法(这是由其不同的所谓共轭径 conjugate diameters 所决定),但曲线的许多性质并不因此改变,由是得以决定那些性质是本有(intrinsic)的。这些主要是前三卷的工作,以下各卷则比较专门:第四卷讨论两条圆锥曲线的交点,特别是它们的数目;第五卷讨论从定点至圆锥曲线的极短和极长线,这些就是所谓法线(normal),即垂直于曲线在交点的切线者;第六卷讨论相同和相似圆锥曲线;第七卷是为第八卷作准备,主要讨论椭圆和双曲线的共轭径①。

---

① Heath 1965, ii, Ch. 14,特别是 pp. 126 – 195 对阿波隆尼亚斯的生平、工作,以及《圆锥曲线》各卷有详细叙述和讨论。

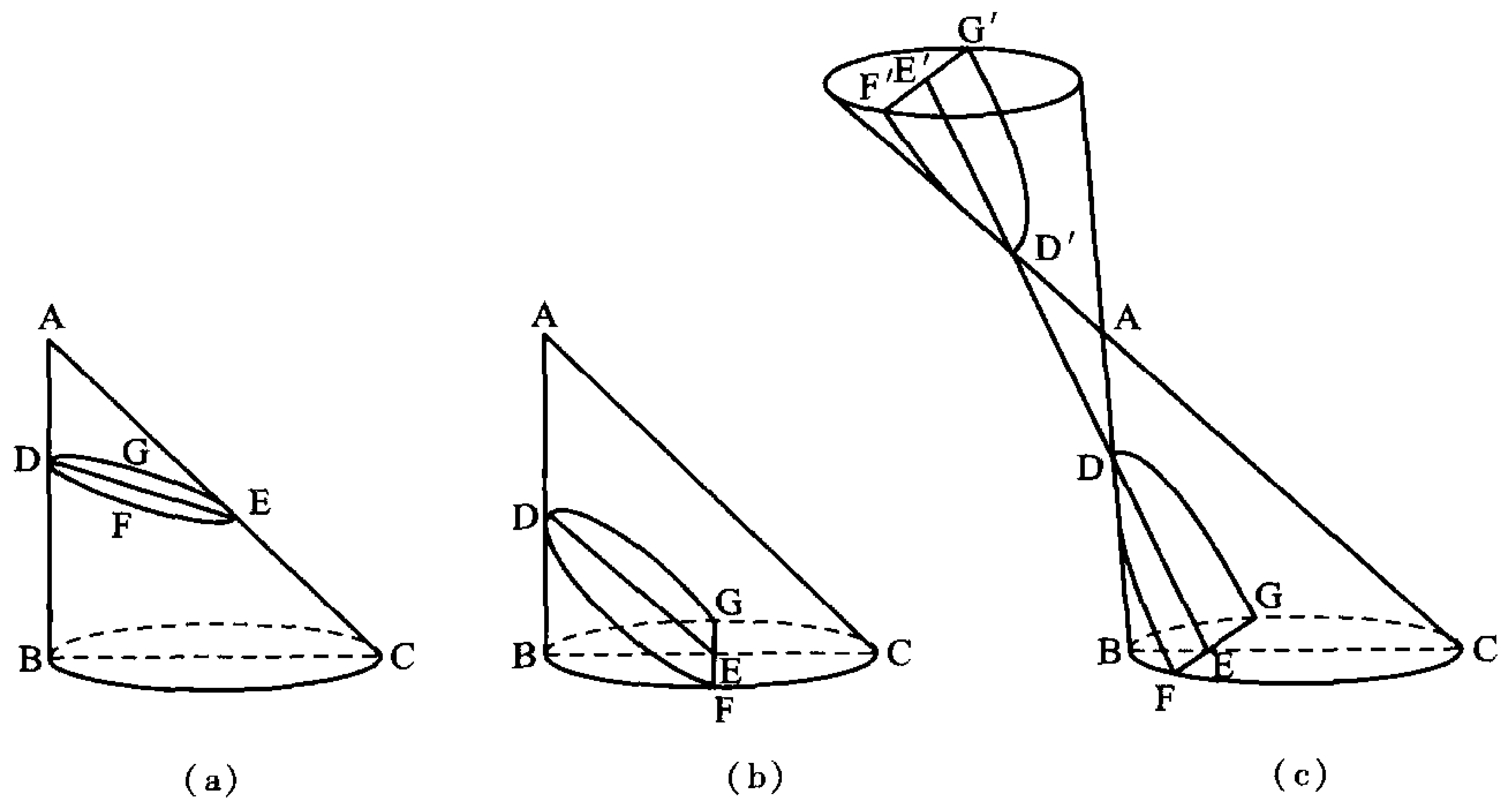


图5.1 以方向不同之平面截割同一斜圆锥体ABC所得之三种圆锥曲线。当截割平面与锥底夹角，即DE与BC之夹角：（a）小于∠ACB时所得为椭圆DFEG（夹角为0时为圆）；（b）等于∠ACB时所得为抛物线DFEG；（c）大于∠ACB时所得为双曲线之两支DFEG及D′F′E′G′。

正如阿基米德在没有微积分方法情况下作严谨几何度量一样，在没有方程式可依据，也就是解析几何尚未发展的情况下，阿波隆尼亚斯对于圆锥曲线本有性质的阐发，无疑也同样需要超卓的智力和精微的思考——事实上，即使在今日，他的许多发现（例如椭圆不同共轭径的平方和或者双曲线不同共轭径的平方差都必然是常数）仍然令人叹服。他工作最重大的影响是在16—17世纪：我们现在知道，天体倘若是在与距离平方成反比的固定中心吸引力（即日球的万有引力）下移动，那么其轨道都是圆锥曲线。因此开普勒、牛顿、哈雷等数理天文学家研究行星和彗星轨道，就都很自然地要用到阿波隆尼亚斯的成果，特别是《圆锥曲线》第五卷。这和张量分析（tensor analysis）与广义相对论的关系一样，也是数学发现走在物理应用的前头，为后者铺垫了基础。

更宽广的世界

比起阿基米德来，阿波隆尼亚斯的另一不幸是，他的其他作品绝大部分都已经失传（表5.3）。不过，泊布斯（Pappus）对他的工作深感兴趣，

在其《数学汇编》(*Mathematical Collection*)特别是其名为《解析宝库》(*Treasury of Analysis*)的第七卷中，更保存了这些作品其中六种的名称和概要①，令我们知道他在圆锥曲线以外还有一个宽广得多的世界，这可以算是不幸中之大幸。从目前仅存的《论切割比例》和泊布斯的综述可以推知，这些遗失作品有相当一部分是与圆锥曲线（包括圆）相关的专题论文；但此外它们也还有涉及其他数学领域的：例如《速算》与计算有关，它得到了3.1416这更为精密的圆周率；《不规则无理数》探讨更广义的无理数，从而扩展了《几何原本》第十卷的范围；《通论》可能是几何基础的讨论；而《论蜗线》则是圆柱螺旋线的讨论，等等。

表5.3 阿波隆尼亚斯著作表

传世著作			
圆锥曲线一至七卷	*Conics I – VII*	论切割比例 *	*On the Cutting-off of a Ratio*
失传著作			
圆锥曲线第八卷	*Conics VIII*	12面体与20面体的比较	*A Comparison of the dodecahedron with the icosahedron*
论切割面积 *	*On the Cutting-off of an area*		
论线段比例 *	*On Determinate section*	通论	*General Treatise*
论切线 *	*On Tangencies*	论蜗线	*On Cochlias*
平面轨迹 *	*Plane Loci*	不规则无理数	*Unordered Irrationals*
倾向 *	*Vergings or Inclinations*	论燃烧镜面#	*On Burning Mirrors*
		速算	*Quick Delivery*

* 在泊布斯《解析宝库》中有综述；#G. J. Toomer 认为此书题被误解了，见 Appolonius 1990，xiii。

阿波隆尼亚斯与学宫天文学家埃拉托色尼同时，那又正是亚历山大城天文学形成大传统之初，因此很自然的他也涉足天文学研究。据说他曾经推断月球的距离，但这比在他之前的阿里斯它喀斯所仔细确定的限度相差很远，所以似乎不太可信。更重要的是，他和新兴起的"均轮—本轮"轨道理论系统之发展（那是与尤多索斯原来的"同心球面"系统竞争的）有重要关系。托勒密在其《大汇编》第十二卷中特别提到他说：以均轮(deferent)和本轮(epicycle)构成的简单系统来描述行星运动，可以解

① Pappus/Jones 1986.

释“逆行”（retrogradation）现象和决定“留驻点”（stationary point），这是数学家如阿波隆尼亚斯发现的①。但最初发明均轮和本轮系统的应当是赫拉克里德斯而并非阿波隆尼亚斯。根据希斯的看法，他在这方面的主要贡献可能是把本轮比均轮还要大的所谓“偏心系统”（eccentric system）应用到三颗外行星去，而将均轮的中心定为日球。由于赫拉克里德斯已经把同样系统应用于两颗内行星，他这个改变实际上可能就形成了第谷的行星绕日，日绕地球的偏心系统②。

在阿波隆尼亚斯之后，古希腊几何学最辉煌和富有创造力的时代就过去了，以后虽然还有许多学者继起，然而他们都再没有能够如前此两个世纪那样开拓崭新领域，而只是填补、充实、修订历代大师立下的规模。这可能有许多不同原因，但在数学工具的发展上缺乏突破恐怕是最主要的：比例论和归谬法在处理空间关系的潜力已经完全发挥出来，再往前进就必须等待全新思维的出现，而这将是个漫长的等待。

五、数理天文学的发展

由于尤多索斯开创性工作的刺激，更加上亚里士多德和他弟子的推动，希腊天文学从公元前4世纪中叶开始脱离巴比伦的传统模式独立发展，而且和数学一样，从公元前3世纪开始，它的中心就转移到亚历山大去了。但和一般印象相反，以几何模型来“重现”天体运行景象，虽然是此发展的重要部分，但却绝非其全部：事实上，以理性精神来探索、解释天象背后的成因，以及测度有关的数据，也同样是此时期的重要方向。换而言之，希腊天文学不仅仅是“数学性”的，也同样有其“物理性”的一面。就个别天文学家、数学家而言，他们的工作或许在这两方面上有所偏重，但倘若认为他们没有意识到这两方面的同等重要性，或者其背后的本质关联，则恐怕是武断了。在这一点上，前一章讨论过的赫拉克里德斯是

① Ptolemy/Toomer 1998, pp. 555 - 562.

② Heath 1965, ii, pp. 195 - 196.

明显的例子，而下面将要讨论的最重要两位希腊天文学家，即喜帕克斯和托勒密，则更是最好证明。

事实上，亚历山大天文学最少有三个相关但不相同方向的发展：(1) 以奥托吕科斯、欧几里德、狄奥多西为主要人物的球面几何学；(2) 以阿里斯它喀斯和埃拉托色尼为主要人物的天体测量；以及 (3) 以喜帕克斯为代表的天体运行模型建构——但必须强调，他在实际观测和“物理性”探索的工作同样重要，甚至更为突出。由于这一大批学者所奠定的宽广基础，天文学虽然在公元前后的两个世纪沉寂多时，但到公元 2 世纪终于产生像曼尼劳斯和托勒密那样的大师，结出丰硕成果。

球面几何学传统

在上一章我们提到，希腊的天文观测和模型建构是从尤多索斯开始。而且，希腊人对他的工作显然很感兴趣，因为公元前 3 世纪的马其顿诗人、学者亚拉图（Aratus of Soli，约公元前315—前245）将他《天象》一书改写成长达七百多行的同名长诗，从而将其中的天文知识通俗化，这成为托勒密王朝和罗马时代最流行的诗篇之一①。除此之外，受尤多索斯“同心球面”系统影响的还有奥托吕科斯（Autolycus of Pitane，约公元前360—前290）②。他在时代上比欧几里德早，或者最少同时，但似乎没有移居亚历山大。他留下两部数理天文学著作：讨论球面几何学，特别是关于球面上“大圆”（big circle）和“小圆”（small circle）的《论天体运动》（*On Moving Spheres*）；以及题材更具体的《论天体出没》（*On Risings and Settings*）。至于欧几里德本人的《天象》（*Phaenomena*）一书，也同样是将球面几何学应用于天文学。由于它们都引用某些不加证明的定理，因而很可能都同样起源于尤多索斯时代的一个天文学教本。

---

① 其实该诗共长一千多行，其后半部分和天气预测有关。亚拉图生平以及此诗介绍，见 Sarton 1959，pp. 60－65。

② 有关奥托吕科斯的讨论，包括他与欧几里德的关系，见 Heath 1965，i，pp. 348－353。

这些著作合称“小天文学”（Little Astronomy），其特点是比较浅显易明，容易为一般学者接受，因此在罗马时期乃至中古欧洲都很风行（分别见§6.2与§10.5），但它是不可能提供天体位置的精确计算方法的，那需要用到球面三角学原理，在他们之后的喜帕克斯（Hipparchus）就是这方面的先驱。

“古代哥白尼”阿里斯它喀斯

另一方面，学宫的成立对希腊天文学产生了深远影响：它是王室支持的学术机构，有稳定和丰富的资源，其中很可能还设有观象台，因此和巴比伦神庙的情况有些相似。事实上，希腊天文观测流传至今的最早数据，就是由阿里斯塔罗（Aristallus）和提摩克里斯（Timocharis）两人于学宫成立之初（公元前295—前283）在亚历山大城所得到，他们所测定的恒星位置，在将近五百年之后还为托勒密在《大汇编》中所引用①。然而，在此时期最著名、也最重要的天文实证研究却走了一条和“观星”传统完全不同的道路：它采取现代科学态度，要从观测所得到的数据来“推断”某些本质数量，即距离和大小——事实上，从一开始，所有观测就都是围绕着明确目标而展开。和阿基米德的静力学一样，这是希腊理性精神应用于自然现象的最佳典范。我们所指，就是“古代哥白尼”阿里斯它喀斯的工作。

和毕达哥拉斯一样，阿里斯它喀斯（Aristarchus of Samos，约公元前310—前230）也是萨摩斯人，时代处于欧几里德与阿基米德之间，曾经受教于吕克昂学堂第三任院长斯特拉托，但这当是在亚历山大城，亦即后者出任托勒密王室储君导师时候的事情②。他在古代地位崇高，不但被称

① Ptolemy/Toomer 1998, pp. 321, 331 - 332.

② 有关阿里斯它喀斯的详尽讨论，见 Heath 1981, pp. 299 - 316。需要注意的是，正如在同时代有两位极容易被混淆的希波克拉底一样，紧随天文学家阿里斯它喀斯之后，还有另外一位文学家阿里斯它喀斯（Aristarchus of Samothrace，公元前220 - 前143），他同样是亚历山大学者，并且曾经担任学宫图书馆长，专长荷马诗学、文法与文学史，见 Fraser 2001, i, pp. 462 - 467。

为"数学家"，而且和费罗莱斯、阿基塔斯、阿基米德、阿波隆尼亚斯等一同被尊为跨越学科界线的大才，这当是和他发明了半球形的日晷有关①。但他最突出并且因此而被称誉为"古代哥白尼"的贡献，则是首先明确提出"日心说"。这见于阿基米德在《宇宙沙数》一书中的记载："他（阿里斯它喀斯）假设众恒星与日停留不动，地球依循圆周绕日而行，日在轨道中央，众星（所处）球面亦以日为中心。"② 他从何得到此说的灵感，是否有支持此说的证据，都不清楚。当然，此说与毕派宇宙论的"中心火球"说有点相近，但两者并不相同：后者虽然认为地球也是绕轨道而行，但其中心却并非日，而是虚拟的火球。事实上，阿里斯它喀斯的"日心说"超越时代将近两千年，它在当时似乎得不到任何支持，也没有发生重大影响。

理性精神典范：日月的测量

阿里斯它喀斯真正重要而且发生广泛影响的工作是《论日月之大小及距离》这部传世作品③。此书在形式上深受《几何原本》影响：它首先列出六条所谓"假设"（Hypotheses），然后通过 18 道附有严格证明的命题亦即推论，求得地球、月球和日球三者的直径，以及月距、日距等五个天文数据之间的比例——更准确地说，是这些比例的上下限。由于某些关键观测数据的误差，这些结果只有地球与月球直径的比例是大致准确的，其余则与实际相差甚远（表 5.4）。然而，重要的是，他这一系列观测和计算构思精妙，方法合理、正确，可以说是完全符合现代科学精神。

---

① 这是公元前 1 世纪罗马建筑学家维特鲁威（Vitruvius）在《论建筑》一书中的评语，见 Heath 1965, ii, p. 1。

② Archimedes 1912, p. 222.

③ 此书标准英译本是 Heath 1981 的第二部分；该书第一部分是希斯所撰至 3 世纪为止的希腊天文学史。

表5.4 阿里斯它喀斯的天文测算结果

	A 上限	B 下限	C 简化推算结果	D 现代值
命题7：日距/月距	20	18	19	388
命题9：日径/月径	20	18	19	403
命题11：月径/月距	2/45≈0.04	1/30≈0.033	0.035（0.009*）	0.00894
命题15：日径/地径	43/6≈7.2	19/3≈6.3	6.7	109
命题17：地径/月径	60/19≈3.2	108/43≈2.5	2.85	3.7

*根据阿基米德所引阿里斯它喀斯提到过的日视角（亦即月视角）值所得结果。

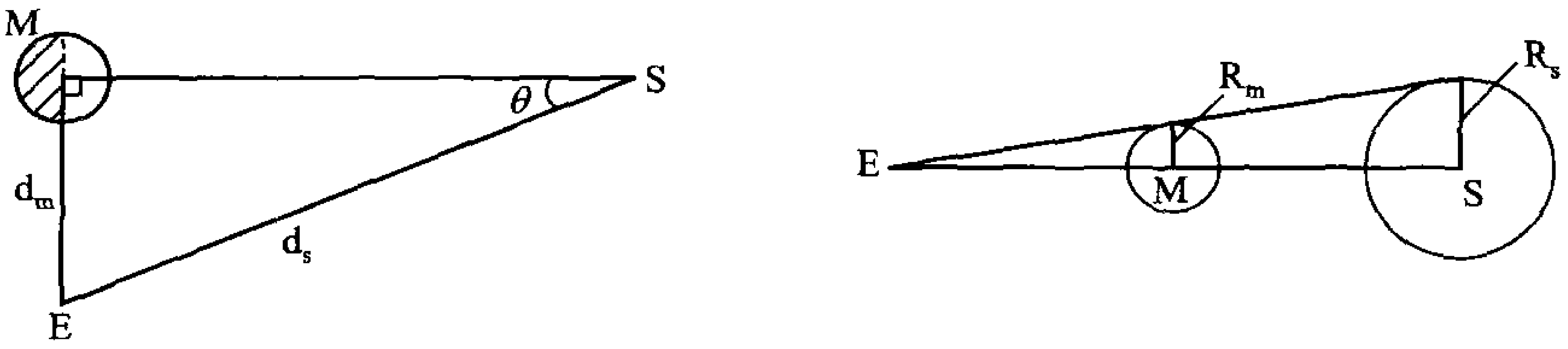
阿里斯它喀斯用了相当精密和繁复的平面几何推理来推断上表中各量的上下限，然而其背后的思路其实是很浅显和容易明白的，从中我们可以看到他对于月光是由日光反射产生（假设1）、月是依循以地为中心的圆形轨道运行（假设2），以及月相和日月蚀的成因等等天文知识都有相当深刻的了解，同时能够充分应用“小角度在圆周上所张的弦长大约等于所对的弧长”（相当于 $x \ll 1$，$\sin x \approx x$）这希腊数学家熟悉的近似公式。现在我们依循他的基本思路，以简化推理方式来求得基本相同的结果，并且将结果列于表5.4的C栏以资比较。

简化推理过程

阿里斯它喀斯所用到的关键性天文资料，包括三个实测数据和两个观测事实。第一个观测事实是：当月球显得明暗各半的时候，明和暗两部分的分界线正对地球（假设3）；而在此时，我们观月和观日两条视线的夹角是90°减去本身的1/30，即87°，那是第一个实测数据（假设4）。从以上两点，我们立刻就可以得到命题7，即 $d_m/d_s = 3\pi/180 \approx 1/19$，其中 d_m 是月距，d_s 是日距（图5.2a）。

第二个实测数据是：月视角（即从地面测量月轮直径所张的角度）是“黄道宫”（sign of Zodiac，即360°/12 = 30°）的1/15，即2°（假设6），这直接导致命题11：$2R_m/d_m = 2\pi/180 \approx 0.035$，其中 $2R_m$ 是月径。在命题8的证明（而并非在任何假设）中，他提出了第二个观测事实：日全蚀的时候月球完全掩盖日轮只有瞬间，因此日和月的视角必然相等（图5.2b），由是 $2R_m/d_m = 2R_s/d_s$，这和命题7合起来就导致命题9：$2R_m/2R_s = d_m/d_s \approx$

1/19，其中 $2R_s$ 是日径。



（a）E、S、M分别为地球、日、月，EM与ES分别为望月与望日视线。　（b）日全蚀时景象：$EM = d_m$，$ES = d_s$

图 5.2

第三个观测数据是：月蚀时地球影子的宽度两倍于月径（假设5）。图 5.3 是月蚀时月心在地球影子中心时的状况，从其中两个三角形 GAB 和 FBC 的相似关系可以得到下列比例关系（见图注的解释）：

$(R_s - R_e)/d_s = (R_e - 2R_m)/d_m$，亦即 $(R_e - 2R_m)/(R_s - R_e) = d_m/d_s$。

这可以很容易地转化为下列形式：

$R_e/R_m = [2 + (R_s/R_m)(d_m/d_s)]/(1 + d_m/d_s)$，

将前面已经求得之 d_m/d_s 与 R_s/R_m 值代入右边，就立刻可以得到命题 17：$R_e/R_m \approx 57/20 \approx 2.85$。至于命题 15（日径和地径的比例）则并非独立，而可以从命题 9 和 17 直接求得。

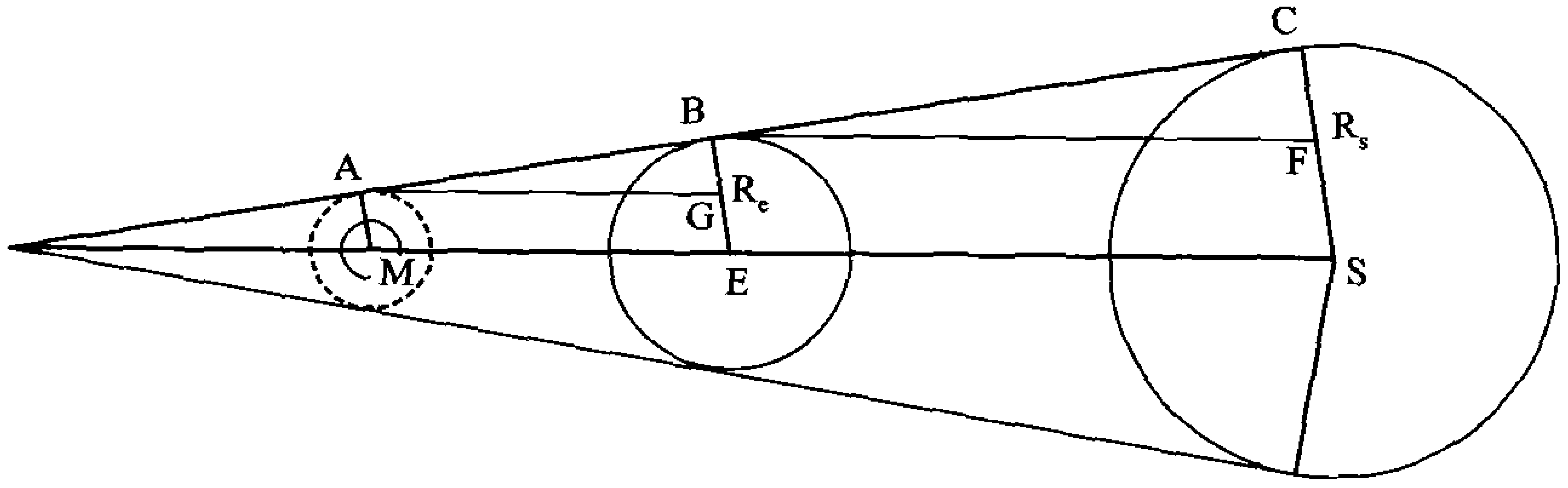


图 5.3　月蚀时月正居于地球影子当中的景象。E、S、M 分别为地球、日、月。地影为月径两倍，所以 $MA = 2R_m$。AG//ME，BF//ES，AM//EB//SC，所以△GAB∽△FBC。注意：E 圆及 S 圆分别为地球及日球，但以 M 为中心之虚线外圆并非月球，其内之实线圆方为月球。

在表 5.4 中，只有命题 17 的结果接近现代值的。其实，根据阿基米德

在《宇宙沙数》中的引述，阿里斯它喀斯是知道月视角为圆弧的 1/720，即 0.5°这个更准确数值的[①]，倘若我们以此替代假设（6），那么命题 11 的结果就会是 0.009，和现代值非常接近了。至于命题 7、9 和 17 的结果则是互相关联的，它们完全决定于图 5.2a 中的那个日月视线夹角，以古代观测技术它极难准确测定，所以相关结果与现代值相差 15—20 倍并不足为奇。

倘若将以上简化的推算方法和阿里斯它喀斯原书 18 道命题的精细和繁复证明比较，我们不免感觉他最初的推算方法可能也很简单直接，其后只是为了显示数学才能，或者必须取信于同行数学家，才把推论复杂化和精确化。在我们看来，这毋宁是反映欧几里德时代的天文学也同样受到严谨推论风尚的巨大压力，而不一定如奈格包尔所认为的那样，因为阿里斯它喀斯是热衷于推理的数学家，亦即他没有很强的“直观意识”（physical sense）。

广博的学者埃拉托色尼

在阿里斯它喀斯之后最著名的天文学家，应当数埃拉托色尼（Eratosthenes of Cyrene，公元前 276—前 194）。他出生于希腊人在北非的重要殖民地昔兰尼，曾经师从多位名家，包括同城的天文学家莱萨尼亚（Lysanias）、著名诗人与文学家卡利马克，还有犬儒学派的嫡传哲学家阿里斯顿（Ariston of Chios），并且长期在雅典学习，因此以学识广博、才华出众知名。时代上他介乎阿基米德和阿波隆尼亚斯之间，正当公元前 3 世纪下半叶，即学宫和希腊数学的鼎盛时期。他在托勒密三世时被延聘为王储导师，后来又出任第三任学宫图书馆馆长，前后达四十余年（公元前 245—前 204/201）之久。他著有讨论哲学与数学基础的 *Platonicus*，以及大量诗歌、剧作、历史、地理、历法、道德论著，但大都已经失传，流传至今的只有零散片段。不过他仍然被尊为希腊古史，特别是其系年纪事表、古代喜剧史以及文学评论等三方面的权威，与他的老师卡利马克一道，都是奠定亚历山大学术基础的前辈。在他之后出现了阿里斯托芬（Aristophanes of Byzantion）和他的学生阿里斯它喀斯（Aristarchus of Samothrace，公元前 220—前 143）这两位荷马诗

---

① Archimedes 1912，p. 223.

学、语法以及古史专家，同时也分别是第四和第六任学宫图书馆长，他们可谓将亚历山大人文学术带入公元前2世纪黄金时代的人①。

埃拉托色尼的科学著作反倒有数种由于被征引而为后世所知，特别是其《论地球的测量》(*On the Measurement of the Earth*)由于施安(Theon of Smyrna)和尼科梅底(Nicomedes)等后人的记载、引述而得以流传②。这其中最为人称道的，当是地球周长的测量，它是通过从夏至日正午时分太阳在两个同经度但不同纬度地点的高度推断出来的：当时在尼罗河上游近赤道的塞伊尼(Syene)日球恰恰位于天顶，但在亚历山大城则其至天顶的距离为圆周的1/50即72°，由于两地相距大约五千斯塔德(Stade)，所以可以推知地球周长为25万斯塔德，大约相当于4万公里，和现代值(40024公里)只相差0.6%，这无疑是古代最准确的大地数据测量了(图5.4)。然而，由于斯塔德的现代相当值并不很清楚，所以不能排除其令人惊讶的准确度有若干巧合成分在内。托勒密又提到，埃拉托色尼发现南北两条回归线的夹角是圆周的11/83，即47.7°，也就是说地轴的倾角是23.85°，这准确至1%左右③；此外他还估计了日月距离及大小，但其方法没有流传，结果也无足道；他所编制的星表据说列出675颗恒星之多，但亦未能流传。

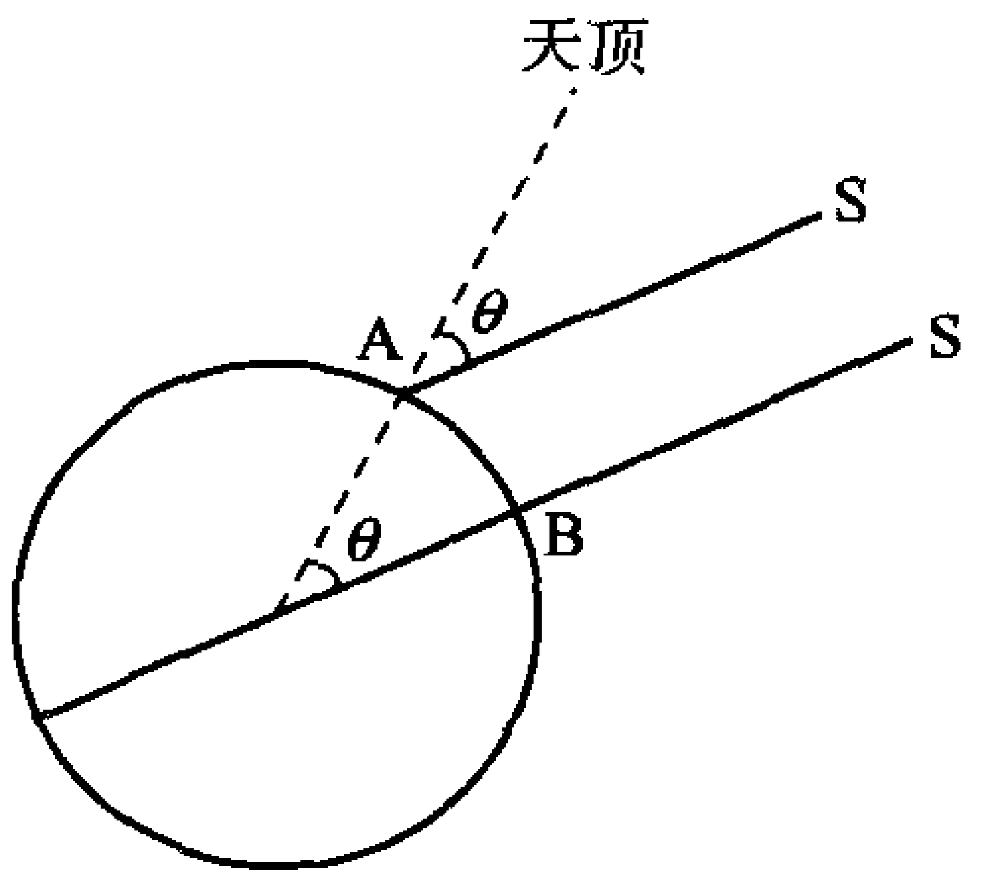


图5.4 地球周长的测量。B为塞伊尼，A为亚历山大城，S为夏至正午的日方向，此方向在亚历山大城与天顶方向成θ=72°夹角，在塞伊尼与天顶重合。

---

① 关于亚历山大人文学术整体，见Fraser 2001，i，Ch. 8；关于学宫图书馆历任馆长，见同书pp. 330－333。

② 这方面的详细讨论，见Heath 1965，*ii*，pp. 104－109。

③ Ptolemy/Toomer 1998，p. 63，但对于托勒密在此所说的确切意思有各种不同解释，见前注。

除此之外，他还有两个相当重要的贡献。首先，是在数学上发明至今还被认为很有效的所谓“埃拉托色尼筛子”决定素数方法，这留存于公元1世纪尼哥马可斯的《算术导论》中。它是这样的：首先，将奇数系列中最小数 n=3 的倍数（不包括3本身）依次画去，以迄所画去之数小于某大数 N；其次，将所余系列中次小数 n=5 的倍数依次画去以迄达到 N；然后类此施行，直至 n 等于 N 为止，这样所剩数列中数目小于 N 的，就都是素数。其次，他首先使用“地理学”（geography）这词语，并且撰写了（可惜未能流传的）《地理学》一书，在其中他首先将天文观测结果应用到测定地表位置上去，又将地图的绘制和经纬度线条结合起来，提出根据纬度划分地球上不同气候区带的观念。最后，他还发现尼罗河流量变化的正确解说，即其平时的稳定流量是由湖泊供应，而每年泛滥则是由于上游的季节性暴雨所致。他被尊为“地理学之父”，是很自然的。与同时代的阿基米德和阿波隆尼亚斯相比，埃拉托色尼无疑广博过之，专精则有所不及，所以不幸被谑称“老二”（Beta）和“全能运动员”（Pentathlos）。这不但决定于性情、禀赋，而且恐怕与他学宫图书馆长的地位有关：日夕浸淫于浩如烟海的典籍中，更经常与人文学者交往，心思、精力因而分散是很自然的。无论如何，他对于亚历山大科学和文化整体的重大贡献是无可置疑的。

不过，真正值得注意和玩味的是，无论在雅典学园或者亚历山大学宫，人文与科学始终并存，始终平行发展，彼此滋润，互相激励，而并非是截然分割。在《对话录》中哲学、宗教、神话与科学探索浑然一体，这成为文、理心灵交融的典范，它为亚拉图的长诗《天象》所继承，到罗马时代还将产生如路克莱修（Lucretius）的《自然之本质》六卷长歌。当然，如本章开头所强调，由于吕克昂传统的影响，在学宫时代纯粹理性精神抬头，科学逐渐从哲学和宗教中独立出来。但这是就个别科学家的工作而言，倘若我们放眼观察他们所处的学术环境，则很显然科学家和人文学者仍然有大量相处、往还、研讨、论难的机会，也就是说“文”与“理”同样是构成西方学术文化整体的要素，缺一不可。事实上，这也就决定了西方文化的本质，它在学园和学宫之中，以迄中古大学的“文科”

(Arts Faculty) 基础课程和今日大学中所谓“博雅教育”(Liberal Arts Education),始终都未曾改变。埃拉托色尼只不过是体现这一大传统最显著的一个例子罢了。

六、天文学大师喜帕克斯

托勒密王朝的最初三位君主带来黄金时代(约公元前300—前220),但随后40年则迎来了懦弱无能的托勒密四世(Ptolemaios IV, Philopator, 公元前221—前204)与五世(Ptolemaios V, Epiphanes, 公元前203—前181)两朝,那成为充满不祥朕兆的转变时期。此后,在塞琉西王朝的节节进迫和内部王位斗争的双重打击下,托勒密王朝不可遏制地衰落:在海外领土逐一丧失,在国内则被迫大量起用埃及本土士卒乃至将领、官员,以及更彻底地接受本土宗教仪式、习俗、语文——例如著名的罗塞特三文石碑(Rosetta stone)就是托勒密五世时期的祭司颁令;到了公元前146年更由于“胖肚皮”托勒密八世的放纵荒诞而产生巨大混乱(§6.1)。它只是由于迅速崛起中的罗马共和国为了本身利益而加意维护,才得免于塞琉西和安提柯王国的侵凌,才能够苟延残喘将近两个世纪之久,以迄为恺撒大帝所灭,那时它已经是个高度本土化的政权了①。

埃拉托色尼和阿波隆尼亚斯的后半生与上述转变期重合,在他们之后文艺虽然欣欣向荣,数学则后继无人;令人感到有点意外的是,有“天文学之父”之称的喜帕克斯却在此时出现。不过他虽然作了大量重要的天文观测,但似乎主要是在罗德斯岛以个人身份独立研究,而并没有依赖学宫的资源,甚至是否到过亚历山大城也不无争议。

谜样的喜帕克斯

在公元前2世纪的数学家和天文学家之中,我们首先应该提到赫西克里斯(Hysicles of Alexandria, 公元前190—前120)。他是《几何原本》第

---

① 有关托勒密王朝在公元前2世纪的衰落,见 Peters 1972, pp. 176 - 184。

十四卷作者，所讨论的是在同一个外接球面以内的正二十面体和正十二面体的比较，而该卷前言则提到，这是根据阿波隆尼亚斯的论文而来。此外他还留下了一部《恒星之升起》（*The Ascension of Stars*），书中将黄道带（Zodiac）划分为360份，每份称为1°，并且将带上星座的回转时间（亦即一日的时间）同样划分为360份，这就是希腊天文学采取划分圆周角为360°以及用“赤经”（right ascension）来决定星位置之开始，它在最基本层面反映了60进制，亦即巴比伦数学和天文学的影响。此书讨论了算术级数求和问题，并且因此涉及了更广泛的所谓“多边形数目”（polygonal number）的观念，即首项为1，公差为m的算术级数之n项和，那称为第n个m边形数目①。

至于同时期的喜帕克斯（Hipparchus of Nicaea，约公元前190—前125）则是众所公认的最重要希腊天文学家。但非常不幸，有关他个人的资料可以说是一片空白，他流传下来的著作亦绝无仅有。这主要是因为后来出现的托勒密《大汇编》极为完备，从而将他的著作几乎全部取代，这和欧几里德的《几何原本》取代了尤多索斯的作品而令其失传，可说如出一辙。事实上，我们对他所知，绝大部分是从《大汇编》对他工作和发现的大量征引（在该书英译本索引中，喜帕克斯一项即占将近整页之多）而来——《大汇编》有意识地详细征引前人工作，那要比《几何原本》进步多了。除此之外，历史地理学家斯特拉波（Strabo，约公元前63—公元24）在其百科全书式的《地理志》（*Geographika*）中也提供了不少他的资料。不过，要从上述资料将喜帕克斯和托勒密分开来，从而还原他学说和贡献的原貌，那仍然非常困难：这不但牵涉大量天文学技术性问题，而且也系乎文献的解释和衡量。幸运的是，已经有许多科学史家在这方面做了大量工作，从而使得我们可以对喜帕克斯获得比较完整的概观②。

从我们仅有的资料看来，喜帕克斯最初可能是在本城，即小亚细亚西

---

① 见 Heath 1965，i，pp. 419 -421；ii，pp. 213 -218。

② 喜帕克斯的论述，分别见 DSB/Hipparchus/Toomer；Thurston 1994，pp. 123 - 138；并见 Ptolemy/Toomer 1998 的大量资料。

北部的尼西亚（Nicaea，今日之 Itznik）作天文观测，后来可能访问过亚历山大城，并且曾经应用那里的浑天仪①，最后则迁移到罗德斯岛（Rhodes）北端工作。至于他是否与学宫有任何关系则无法确定。他的工作范围非常宽广，在天文学的领域几乎是无所不包，而且都有突出和开创性贡献。没有他所奠定的稳固基础，托勒密的综合性巨著《大汇编》是难以想象的。因此，他在希腊天文学上的地位，和尤多索斯在希腊数学上的地位大致相当。

恒星观测

喜帕克斯的工作大致可以分为四方面。首先，是天文坐标的发展和恒星的观测。喜帕克斯唯一传世作品是《亚拉图与尤多索斯“天象”之论述》（*Commentary on the Phenomena of Aratus and Eudoxus*），共三卷，它作于公元前 140 年左右，分别论述尤多索斯的《天象》、亚拉图据此而作的同名长诗（见 §4.6 及上一节），以及阿它鲁（Attalus of Rhodes）对于该诗的讨论。喜帕克斯此书的重要性在于它的后半列出了许多星宿的位置，并且基本上是以“赤经”（right ascension）和“赤纬”（declination）系统来定位②，这反映出他当时可能已经初步编就一个准确至 20′的星表，并且制造了显示星宿位置的天球模型（celestial globe）。

喜帕克斯的星表大约在十年后（公元前 130）编纂完成，它本身已经失传，只是由于为托勒密采用而间接留存于《大汇编》的星表之中。在这一点上，托勒密在《大汇编》星表前面的按语很重要：他首先解释，恒星的相对位置虽然固定，但其整体（亦即所谓其“天球”）除了每日的旋转以外仍然有微小变化，然后说：“喜帕克斯根据其所能看到的资料已经意识到这两点，然而他所能够找到的前人恒星观测极其稀少，事实上只有阿里斯塔罗

① 其实他曾经在亚历山大城作观测一事只凭《大汇编》中的一条孤证，而其解释还有争议，见 Ptolemy/Toomer 1998，p. 134n9 以及 Frazer 2001，i，p. 423。

② 天上星宿的位置基本上是以类似于地球表面的经纬度坐标来决定的，但是地表坐标自然地以赤道面为基准面（reference plane），天文坐标则视乎基准面的选择而有所不同：赤经和赤纬属于“赤道系统”，即以地球赤道面为基准；此外还有以地球轨迹平面为基准的“黄道系统”，以及以观察地点的水平面为基准的“大地系统”。喜帕克斯是最早应用赤道系统的，但并非严格应用，而是掺杂了其他更传统的定位方法。

和提摩克里斯不甚准确和谨慎的记录，因此就（这些）长期效应而言，他别无办法，只好猜测而无法作预测。我们在将目前的天象与当年（按：即喜帕克斯时代）比较之后，也得到了同样结论，但（比他）更为肯定，因为我们的比较时段更长，而且喜帕克斯留下了非常完善的恒星观测记录，那成为我们用以作比较的主要资料。”① 这不但清楚地说明恒星观测自学宫成立之初（公元前280）至喜帕克斯（公元前130），再到托勒密（公元150）前后四百多年间所经历的大变化，而且也成为当代学者重建喜帕克斯星表的根据。

进动的发现

恒星观测是长期和细致的资料累积，如上面所说，从这些资料可以推断所谓“天球”旋转轴的细微变化，也就是地轴的“进动”（precession，亦称“旋进”），这是喜帕克斯最重要的天文学发现。在古代天文观测上，地球的旋转表现为“恒星天球”的（逆向）旋转，地轴本身的“进动”则表现为恒星天球在每日旋转以外的长期和缓慢运动，这会导致所谓春分点的移动，因为春分点是由地轴方向与从地球至日球方向的夹角决定。由于历法上的“回归年”（tropical year）是由一年到次年的春分点来决定的，倘若春分点由于“进动”而移动，那么“回归年”就会稍短于地球绕日一周所需的固定时间，即所谓“恒星年”（sidereal year）。根据托勒密，喜帕克斯意识到“恒星的天球也有很缓慢的运动，它和行星一样，相对于第一个运动（按：指恒星的每日旋转）而言，是往后方的”，是因为他将古代（莫顿和阿里斯它喀斯的，也很可能包括巴比伦的）天文观测数据，主要是月全蚀和某些星宿升至最高点（culminate）的时间差，与自己的观测比较，从而得到天球的回转不少于每世纪1°，这也就是地轴的进动率，它和每世纪1.4°的现代值是相当接近的②。

另外一个看法是他通过春分点的精确测定以及古巴比伦数据发现“回

---

① Ptolemy/Toomer 1998, pp. 321 - 322.

② Ptolemy/Toomer 1998, pp. 131, 327 - 328.

归年”要比当时通用的每年365.25日短1/300日，而“恒星年”则比之长1/144日，也就是说后者比前者要长37/3600日，或者在1世纪中要长37/36日，以日球在黄道上每日移动360°/365计，即每世纪1°左右①。恒星年与回归年的差别在古代中国称为“岁差”，是东晋天文学家虞喜在公元330年左右发现的。

日月测量和理论模型

跟随阿里斯它喀斯的传统，喜帕克斯对于日月的大小、距离和运动也作了很精密的研究。例如，他意识到日的距离很远，它的视差（parallax）很难准确测度，因此假设它是0或者有个极小上限数值，并且在此基础上通过公元前190年的一次月蚀观测，得到59＜月距/地球半径＜67的结果，现代值60与此大致相合，而且与其下限59仅相差1.5%。他对日球的测定虽然仍然不准确，但比阿里斯它喀斯也有显著进步：他得到日径/地径≈12.3，日距/地径≈2500，这分别是现代值的1/9和1/5左右；此外他又测定白道（月球轨道）面与黄道面的交角为5°，现代值则为5.145°，相差仅3%。

托勒密在《大汇编》中采用了这些结果，并且很自觉地说明出处；我们由是得知，该书的日运行理论全出于喜帕克斯，月运行理论也有很大部分是他的贡献。它的日运行理论其实非常简单，只不过是假设日球围绕空间某点O作均匀圆周运动，但地球不在圆心O，而在其附近。这就是所谓“偏心圆”（eccentric circle）模型，它虽然简单，却可以很自然地解释日运行速度的变化，即所谓“异常”（anamoly），以及这些变化与其位置的关系。这模型只需要两个可以很容易从天文观测数据决定的参数；参数一旦决定就可以从模型预测日的运动，亦即编制日球运行数表。

月球的运动要比日球复杂，因为它的速度变化显著和频繁得多，而且它并没有简单周期：事实上，它有好几个各不相同的周期，例如赤经、赤

---

① Thurston 1994, pp. 125－126; N. M. Swerdlow, “Hipparchus's determination of the length of the tropical year and the rate of precession”, *Arch. Hist. Exact Sci.* **21** (4) (1979/80), pp. 291－309.

纬、速度等的周期，这就是“恒星月”、“朔望月”等的由来——况且，这些个别周期本身也还并非固定。从各种证据看来，喜帕克斯在这方面的研究十分依赖巴比伦的天文数据——而且还不是原始数据，只是经过整理的综合数据。他通过何种途径得到这些资料不甚清楚，但从贝罗索斯在科斯岛教授天文学的先例看来，这样的途径显然是存在的。喜帕克斯以最简单的“均轮—本轮”模型来描述月运动①，其参数从三次月蚀观测数据来推断。这样一个模型大体上可以解释月的运转、速度变化、纬度变化、纬度最大点的移动，等等。不过，除了在朔望点附近以外，它对月运动的数量预测就失准了，这是喜帕克斯也意识到的事情，它成为托勒密建构更复杂模型的基础和动力。由于喜帕克斯的日月模型只保存于《大汇编》之中，而且和托勒密的工作一脉相承，所以细节留待第七章讨论。

三角学先驱

最后，喜帕克斯还是三角学先驱。为了天文计算上的便利，他编制了一个“弦表”（chord table），它基本上每隔7.5°列出一个“标准圆”的圆心角 2α 所对应的弦之长度 Crd 2α。根据巴比伦数学习惯，他这“标准圆”的圆周长度定为 $360\times60'$，所以其半径是 $R=360\times60'/2\pi\approx3438'$，而弦长和现代的正弦函数 $\sin\alpha$ 有下列简单比例关系：$\mathrm{Crd}(2\alpha)/2=3438\ \sin\alpha$。这弦表的计算基本上是从 $\mathrm{Crd}\ 60°=R$ 以及 $\mathrm{Crd}\ 90°=\sqrt{2}R$ 出发，然后利用毕达哥拉斯定理以及阿基米德已经知道的半角定理［即相当于 $\sin(\alpha/2)$ 的公式］来推算的。这一弦表后来为托勒密更精密的弦表所替代，因此在希腊文献中失传，但仍然留存于古印度天文学文献中而为世人所知。弦表的出现无疑意味平面三角学萌芽。事实上，也有一些证据显示，从喜帕克斯或者更早开始，希腊数学家为了研究星辰升降时间，已经开始注意球面三角学，并且在这方面有了进展②。不过，这方面的系统研究还要等待

① 喜帕克斯月运动模型见 Pedersen 1974，pp. 165 - 184 的详细讨论，以及 Thurston 1994，pp. 143 - 146 较简单的阐述。

② Heath 1965，ii，pp. 257 - 259.

两个世纪，即要到公元1世纪末的曼尼劳斯（Menelaus）才开始。

《地理学》的批判

埃拉托色尼是天文地理学创始人，喜帕克斯则撰写过三卷《埃拉托色尼地理学驳议》（*Against the Geography of Eratosthenes*），对于前者《地理学》一书中有关距离和方位的数据加以纠绳和补充，但这些都只限于局部问题和资料（譬如某些城市的纬度），说不上全面和系统性的进展。无论如何，天文学对于地理学的刺激和推动显然已经在此时露出端倪了。

喜帕克斯是托勒密王朝科学传统的殿军：他的多篇专业论文将历史资料、实际观测、理论计算以及模型建构有机地结合起来，为希腊天文学建构了一个具有稳固实证基础的理论架构。但他的工作还有两个明显不足：首先，是数学上缺乏球面三角学这个基本工具；其次，则是由此而导致理论上只能够应用最简单的“均轮—本轮”系统，因此也就无法精确地计算月运动，更不能处理行星运动。不幸的是，为了我们在下一章所要提到的理由，这两方面的发展都为政治变化所大大推迟。公元前2世纪中叶即公元前146/145年左右，正当盛年的喜帕克斯到亚历山大城作了一次重要的天文观测。这是有重要象征意义的，因为此后他就被迫移居罗德斯岛，“托勒密王朝科学”（Ptolemaic science）遂成绝响，而亚历山大城的科学研究重现光芒则是250年后，即公元2世纪初的事情，那已经是罗马帝国时代了。

第六章　罗马时代的科学与教派

阿基米德是古代最伟大数理科学家，他在16世纪的数学“复兴”中被视为导致现代物理学出现的关键因素。科学史家柯雷（Koyré）甚至认为，希腊科学没有理由不能够直接跨入现代，亦即倘若阿基米德后继有人，那么当时就大有可能作出与伽利略相同的发现。这惊人见解容或不错，奈何如此天才千载难逢，更何况覆巢之下并无完卵，阿基米德为攻破叙拉古城的罗马士兵所杀（公元前212）正就象征时代巨变的来临：崇尚思辨的希腊文明正走向终结，坚强无情的罗马迟早将扫荡一切障碍，建立大一统帝国，在其中城邦和区域文化消失，为大众化宗教所取代。虽然这一切都还在遥远、难以预见的未来，不过也不是没有迹象。例如，喜帕克斯在亚历山大作天文观测（公元前146）之后不久，城中所有学者为狂悖的托勒密君主驱逐出境，这大都会作为文化中心的光芒也黯然失色了。

罗马的崛起虽然改变了世界，但希腊科学并没有立刻衰落下去。事实上，经过此前将近四个世纪的发展，它已经建立起强韧传统，可以抵受风霜而继续生存了。所以，在其后漫长的六个世纪（公元前150—公元450）它仍然人才辈出，甚至还产生了像托勒密（Ptolemy）那样承先启后，综汇百家的一代宗师，从而为古代宇宙观画上完美句号。另一方面，在这样一个陌生艰苦的环境中，科学再也无力引领风骚，倾动天下，囊括第一流人才，因而难免锐气消磨，日益丧失创新力量，最后逐渐沉沦为记诵诠释之学，这是公元5世纪的事情。在其时，罗马帝国本身也同样日薄西山了。

本章所讨论的是上述时期的前半部分（公元前150—公元150），它包

表 6.1　罗马时代的科学家、哲学家与教派

年代与相关事件	希腊科学家	希腊哲学家	罗马学者	教派、法师
公元前 200—前 100 前 155　希腊哲学家使团访罗马 前 145　亚历山大学者被驱逐	狄奥多西	卡尼底斯@ 潘尼提乌# 拉里沙的费罗@		
公元前 100—公元元年 前 88　苏拉将军围困雅典，希腊学者移居罗马 前 30　屋大维征服和并吞埃及；罗马帝国形成	博斯多尼乌# 斯特拉波	安条克@ 尤多鲁斯@ * 亚历山大的费罗@ *	瓦罗 西塞罗 庞贝 路克莱修 尼吉地乌	
公元元年—100 30　原始基督教诞生 64　皇帝尼禄在位，罗马大火 79　维苏威火山爆发	詹明纳斯 赫伦 马林诺斯	普卢塔赫@ □ 摩德拉图斯 * 尼高马可斯 *	维特鲁威 塞内加# 普林尼 塔西佗□ 克里门▽	《赫墨斯经典》△形成
100—200 96—178　罗马帝国的太平盛世 176　皇帝奥勒利乌斯在雅典创立四哲学讲席	曼尼劳斯 施安 托勒密	纽曼尼亚斯 * @	奥勒利乌斯# 德尔图良▽	灵智教派出现 朱利安父子◇ 波鲁斯△
200—300 235—284　军队将领混战时期	丢番图	柏罗丁 ** 第欧根尼□ 波菲利 ** ◇ 艾安布里喀斯 ** ◇	奥利金▽	《赫墨斯文献》△ 佐西莫斯△
300—550 313—321　基督教被尊为国教 476　西罗马帝国灭亡 529　查士丁尼关闭学园	泊布斯 塞里纳斯 亚历山大的施安 希帕蒂娅 尤托斯乌	普卢塔赫 ** 普洛克鲁斯 ** 达马修斯 ** 辛普里修斯 **	巴西勒▽ 奥古斯丁▽ 麦克罗比乌 卡佩拉 卡西奥多鲁 波伊提乌	

#斯多葛派；@中期柏拉图学者；* 新毕达哥拉斯学派；** 新柏拉图学派；◇迦勒底神谕教派；△赫墨斯教派；□历史学家/传记作家；▽早期教父

含三方面发展：罗马时期的希腊科学；罗马科学与哲学；以及毕达哥拉斯—柏拉图传统衍生的各种教派、思想。这几方面发展好像没有什么重要意义，然而它们是连接古希腊和中古以及文艺复兴欧洲的链环，也是了解后两个时期的发展所无法忽略的。至于上述时期的后半期（公元150—450）则以托勒密的工作、成就为主，它将留待第七章讨论。这两章所牵涉的时段跨度很长，脉络和人物繁多，更且交相影响，读者恐难免感觉头绪纷纭。因此我们将有关时代、事件、人物列成表格，以方便检索、对比（见上页表6.1）。

一、希腊世界的破灭

托勒密王朝最初三位君主励精图治，奋发有为，但到了公元前2世纪前夕，形势却急转直下。这其初是由于王朝本身的虚弱、混乱和其他两个马其顿政权的进逼，后来则是因为罗马崛起令整个地中海政治改观，三个亚历山大后继王国随而先后覆灭。

在上一章我们已经提到，从大约公元前220年开始，托勒密王国就衰落了。当时安提柯和塞琉西王国分别出现了腓力五世（Philip V，公元前221—前179）和安条克三世（Antiochus III，公元前223—前187）这两位大有为之主，他们野心勃勃地准备瓜分托勒密王国的海外领土，甚至觊觎它的埃及本土。在对抗安条克的战役中，托勒密四世侥幸得胜，从而获得暂时安定，但他之后的托勒密五世却是个孩童，因此只好订定城下之盟，丧失绝大部分海外领土。经过两场战争之后，王朝被迫大量起用埃及本土将领和士兵，由是产生沉重的经济压力，这转嫁到民众身上之后，又导致大规模叛乱，乃至有敌对政权在上埃及出现，而海外属土的丧失更加剧了上述趋势。同样是孩童的托勒密六世（Ptolemaios VI Philometor，公元前181—前145）登基后遭到塞琉西君主第三次入侵（公元前167），只是由于霸主罗马出面干涉才挽救了他的亡国厄运，但代价则是托勒密王朝自此沦为罗马附庸，只能够在其翼卵下生存，至于王室继承则在争位的兄弟姊妹、亚历山大民众、埃及祭司与本土民众，还有遥远的罗马元老院等多种不同

力量的碰撞下摆动，纷争无已。

罗马共和国崛起于公元前 3 世纪。它开端于希腊军事天才皮鲁斯（Pyrrhus of Epirus）在南意大利“惨胜”罗马军团（即所谓“Pyrrhic victory”），然而却被迫退让（公元前 283）；转折点是罗马在首次“布匿战争”（First Punic War，公元前 264—前 241）中击败当时西地中海最强大的力量迦太基（Carthage）；最后则结束于惨烈和旷日持久的第二次布匿战争（公元前 218—前 202）：在此战争中罗马彻底击溃迦太基的军事奇才汉尼拔（Hannibal，公元前 247—前 182），从而获得整个地中海霸权。迦太基既倒，罗马目光自然转向东地中海的三个马其顿王国——虽然它本来并无称霸野心。这是因为迦太基本来善于联络海外同盟，这些盟友自不免和罗马发生冲突、对抗。西西里岛特别是叙拉古城邦就是因此被罗马所征服，阿基米德亦是在城破之际被杀害。其后罗马派出军团在两次“马其顿战争”（公元前 215 以及公元前 200—前 196）中击败腓力五世，和在马格尼西亚之役（Battle of Magnesia，公元前 189）教训安条克三世，多少也是为了相类似原因，包括制止他们的扩张野心。但直至公元前 2 世纪初为止，罗马的东方政策还是相当温和与被动，并没有过度干预的兴趣，更不要说直接统治的想法。

改变他们思维的悲剧性转变出现于公元前 2 世纪初的第三次马其顿战争（公元前 172—前 168）。在击溃希腊诸邦叛乱以后，罗马仍然没有占领土地，却掳掠了大量财物。这横财大大激起他们紧密控制东方的意欲，由是增加了与当地民众冲突的机会，最终导致将东方各地先后从属国降格为行省，也就是纳入其行政管理系统。希腊世界之逐步崩溃、覆灭是从马其顿的分割、驻军，和科林斯（Corinth）的焚掠（公元前 167—前 146）开始的；雅典为罗马将军苏拉（Sulla）纵容军士大事掳略（公元前 87—前 86）则为其高潮。在上述延绵两个世纪之久的崛起过程中，公元前 146 年是决定性时刻：当时罗马赢得第三次布匿战争（公元前 149—前 146），然后彻底毁灭迦太基城，从而巩固了它在整个地中海不可动摇的霸主地位①。

---

① 关于亚历山大三个后继王国以及其与罗马冲突的历史，见 Peters 1972，Chs. 4，6 - 7。

以不可思议的巧合，亚历山大也在同一年遭到空前厄运。在托勒密王朝之初，亚历山大城的希腊人高度团结，都属于效忠王室的上层，与广大埃及民众截然分隔。但到公元前2世纪初社会结构发生巨变：大量希腊与犹太移民的涌入，以及本地民众的高度希腊化，使得类似于公民社会的上层消失，行使统治权的王室和城内广大民众因而出现对立，而后者更往往卷入宫廷政治斗争，特别是在托勒密六世和托勒密八世（Ptolemais VIII Euergetes II，公元前182—前116）这两兄弟的王位斗争（公元前169—前163）中发生了巨大的作用。绰号“胖肚皮”（Physcon）的托勒密八世为民众所鄙视和激烈反对，因此在公元前163年被迫离开埃及；但在托勒密六世于公元前146/145年去世后，他趁机返回亚历山大重登王位，更且强娶兄嫂，谋杀已经被立为托勒密七世的幼侄。这再次引起民众和大批学者的激烈对抗，但都为他以暴力强压下去。而且，为了釜底抽薪和宣泄愤恨，他更将亚历山大所有学者驱逐出境，从而将先人一个半世纪以来辛苦建立的文化基业摧残殆尽。总括而言，从公元前2世纪初开始的内忧外患，即已经大大丧斫亚历山大的文化活力，世纪中叶之后的宫廷斗争和内战更令它一落千丈，而转折点则是公元前146/145年[①]。

到公元前48—前31年埃及先后为恺撒大帝（Julius Caesar）、安东尼（Mark Antony）和屋大维（Caesar Octavius，公元前63—公元14）所征服和占据，托勒密王国终于灭亡。而且那也就是罗马从共和国转变为帝国的时刻：公元前30年屋大维打败与他竞争的安东尼，征服埃及，从而成为实际上的罗马皇帝。他在位长达44年之久，而且一直维持帝国和平与安定，赢得民众和军队的信任与爱戴，他所建立的独裁体制因此得以巩固。他自己后来被尊奉为恺撒奥古斯都（Caesar Augustus），历届继任皇帝虽然并非子嗣，也都沿用恺撒称号。

---

① Fraser 2001, i, pp. 422 - 425; Peters 1972, pp. 176 - 184.

二、天文学与机械学传统的延续

在喜帕克斯之后托勒密王朝残破了，亚历山大也开始没落，但学宫和它的图书馆仍然存在。在此后两三百年间我们也还可以举出狄奥多西、博斯多尼乌、詹明纳斯等希腊数理天文学家来，但他们的工作主要是在小亚细亚、罗德斯岛、雅典等地而非亚历山大进行，其原创性也远远无法和前一阶段相比。至于同时期的赫伦倒的确是不折不扣的亚历山大科学家，但他秉承的却是本地的机械学传统，在这方面他和托勒密一样，也是集大成者。本节要讨论的，就是以上几位学者的工作。

在此应该说明，上面所谓“没落”其实只是指希腊的数理科学传统而言，倘若放眼这传统以外，那么上述两个世纪就绝对不显得沉寂和空白，反而表现为思想上极其活跃。首先，在此时期罗马正积极地吸收希腊哲学和发展自己的哲学、科学，产生了诸如西塞罗、瓦罗、路克莱修、普林尼等一大批重要学者；同时，在销声匿迹一个多世纪之后，毕达哥拉斯学派又再度复活，继续宣扬其混合科学与宗教的哲学。这两方面的发展与数理科学传统都有相当关系，这我们将留待本章后半部分进行讨论。

球面几何学

上述时期第一位学者，是比喜帕克斯稍晚，但来自同一地区的狄奥多西（Theodosius of Bithynia，约公元前160—前90），他主要因为留下了一部三卷本的球面几何学教本《论球面》（*Sphaerics*）知名，此外则一片空白①。在希腊科学传统，特别是毕氏教派传统中，这书名其实就等同于天文学，和奥托吕科斯的《论天球运动》以及欧几里德的《天象》类似。此书第一卷相当于《几何原本》第三卷，但是将平面的圆圈立体化成为

---

① 有关狄奥多西及其著作，见 Heath 1965，ii，pp. 245 - 252。奈格包尔则将奥托吕科斯的两部作品、欧几里德的《天象》，以及狄奥多西的三部作品列为“曼尼劳斯之前的球面天文学”合并讨论，见 Neugebauer 1975，ii，pp. 748 - 771。

球面，由是圆的直径相当于球面上的“大圈”，弦相当于球面的切面，亦即“小圈”，平面上的许多定理由是可以在球面上找到对应。第二和第三卷主要是与天文学相关的球面几何学，这包括：星辰运动所形成的平行小圈、与这些小圈成倾角的大圈，即黄道、地平线形成的小圈、赤道形成的大圈，等等；从它们之间关系的命题就可以进一步推断星辰的出没和日夜长短的变化。但基本上书中没有发展三角学，因此所有这些变化都无法定量计算。换而言之，他只能够通过诸如下列公式来估计弦长而不能直接计算弦长：倘若 $\pi/2 > \alpha > \beta$ 则 $\tan\alpha/\tan\beta > \alpha/\beta > \sin\alpha/\sin\beta$。其实，阿里斯它喀斯也受到同样限制。狄奥多西其他两本著作《论居住区域》（*On Habitations*）与《论日夜》（*On Days and Nights*）题材比较具体，但数学基础也同样薄弱。希斯和奈格包尔都批评以上三部作品，认为是搜集编纂之作，缺乏洞见与原创性。这也就是我们所谓“小天文学”传统教材的源头（见 §5.5）。

希腊文化与拉丁世界

比狄奥多西晚一代的是罗德斯岛的博斯多尼乌（Posidonius of Rhodes，约公元前135—前51）。他生于叙利亚阿帕米亚（Apameia）的希腊家庭，在雅典受教育，师从斯多葛派儒雅多才、交游广阔的大师潘尼提乌（Panaetius of Rhodes，约公元前 180—前 108）。潘尼提乌的学问是得之于帕加马（Pergamum）和雅典这两个当时的学术中心，他通过与罗马贵族交往将之广为传播，由是成为将希腊文化传入拉丁世界的前驱。博斯多尼乌是潘尼提乌最得意的大弟子，他同样博学与擅长交际，年轻的时候精研覃思，遍游地中海以迄大西洋岸滨，然后接掌罗德斯岛的斯多葛学院，并活跃于当地政坛，一度出使罗马（公元前 87/86）；他更步武乃师，在罗马社会最上层交游讲学，如西塞罗（Cicero，公元前 106—前 43）和庞贝（Pompey the Great，公元前 106—前 48）等政坛显要都以师友相待，后者在出征之际更多次亲临罗德斯岛访问他；此外路克莱修（Lucretius）和塞内加（Seneca）两位罗马学者的主要著作也都取材于他的有关天象学论著。其当

日的影响之大自不在话下，然而博学有余，创见不足，亦是意料中事[1]。

博斯多尼乌的著作包罗哲学、天文、地理、地质、历史等多方面，但仅遗残篇流传[2]，至于天文学著作则保存于克里奥美迪（Cleomedes，约公元1世纪）的《论天体之圆周运动》（*On the Circular Motions of the Celestial Bodies*），从中我们得知他曾经通过同时观测老人星（Canopus）在罗德斯岛和在亚历山大两地的高度（即仰角）而推断地球周长，得到相当于2.4万公里的结果，这虽然接近现代值，但其实是错误相消所致，而且其方法只不过是埃拉托色尼方法的变化，无多新意。他又曾经企图测算日月的大小和距离，但方法也未能超越阿里斯它喀斯，甚且尚有不及（例如他假设在月蚀的时候，地球的投影是圆柱形而非圆锥形），和喜帕克斯更无从相比。除此之外他还有一部天象学著作，但那大部分是取材于亚里士多德的了。

罗德斯岛的传统

在博斯多尼乌之后的过渡期科学家还有詹明纳斯（Geminus of Rhodes，约公元前10—公元60），他不但生平不详，甚至连年份乃至名字、城邦都有争议[3]。一般认为他是博斯多尼乌的弟子或者继承者，可能曾经在罗德斯岛工作，因为他的天文学工作往往以该地为参照点，但这可能是追随天文学家惯例而已。罗德斯岛本来是托勒密王国盟邦，两者商业与文化关系密切，共同控制东地中海航运与贸易。在公元前2世纪中叶托勒密王国衰落，它变为罗马的忠诚盟友，其后更由于托勒密八世的倒行逆施而接受了大批亚历山大流亡学者，自是发展成为蓬勃学术和天文学中心。很自然地，到这亲切舒适环境来修习、吸收希腊文化也成为罗马贵族时尚。因此罗德斯岛传统与喜帕克斯、潘尼提乌、博斯多尼乌等学者的影

---

① 有关潘尼提乌、博斯多尼乌、克里奥美迪、詹明纳斯等学者的活动，以及他们对于罗马文化的影响，斯塔尔的《罗马科学》有专章论述，见 Stahl 1978，Ch. 4。

② 但时人与后人对于他和他的工作有大量评述，这些都收集于 Edelstein and Kidd 所编纂的集子中，见 Posidonius 1972；此外 Heath 1965，ii，pp. 219 – 222 有关于其科学工作的论述。

③ 有关詹明纳斯的论述，见 Heath 1965，ii，pp. 222 – 234。

响是分不开的。

詹明纳斯著有《数学理论》（*Theory of Mathematics*），它构思宏大，是近乎百科全书式的著作，可惜已经失传，我们对它的了解大都是从后人征引而来。例如普洛克鲁斯的《〈几何原本〉第一卷评论》就大量引用他的观点和史料，此外辛普里修斯、尤托斯乌和赫伦也都提及此书。从中我们知道他企图建立严谨的数学结构，即将不须亦不可能证明的定义、公设、公理、假设等与必须证明的定理、引理、问题加以清楚地区分和系统化，这主要是为了响应怀疑论派和伊壁鸠鲁派哲学家对于数学的攻击，因此他又被认为是斯多葛派哲学家。在数学上他最重要的贡献是，试图提出几何学著名的第五公理之证明（他的办法是作一直线通过与另外一条直线等距离的许多点），这观点虽然错误（因为无法证明这样的直线存在），也不一定最早，但却是我们具有确切资料的最早尝试。他又证明只有直线、圆和圆柱螺线是完全“自洽”，即其任何一段都可以重合于等长的另外一段者；不过，圆柱螺线是阿波隆尼亚斯而非他首先发现的。除此之外，他还讨论了诸如蔓叶线（cissoid）和蚌线（conchoids）那样的高次曲线。

在天文学上，他的《天文学导论》（*Isagoge*）得以传世，它共 18 章，基本上是以喜帕克斯为根据的天文现象初等论述，题材十分广泛，包括日夜长短、黄道带、星座、月份、朔望、日月蚀、行星运动，等等，但都属于描述性质，只有最后一章则在更高水平详细讨论月的运动，并且提出了具体观测数据以及平均运动（mean motion）的观念。这可能是詹明纳斯的主要贡献，但亦有人认为是另外的著述掺入其书中所致。

亚历山大科技传统的发扬

倘若詹明纳斯是罗德斯岛天文学传统的继承者，那么毫无疑问，赫伦（Heron of Alexandria，约公元 10—75）则是亚历山大城机械学传统，亦即斯特拉托、特西比乌及其弟子费隆等的继承者。他和詹明纳斯一样，也是生卒年份大有争议，直到 1938 年才由奈格包尔提出天文学证据，把他定为公元 1 世纪的人。他的大量作品使得我们能够更深刻地认识亚历山大科

学的另一面：这完全不同于高度推理性的希腊主流，而是承接巴比伦数学方法，以计算和实用为主的传统①。

赫伦的作品性质庞杂，颇近于理工学院的讲稿或者笔记，而非严谨的学术专著，其着重点在于教授方法多于发扬理论。它们大体上可以分为三个类别：（A）数学：包括《测算学》（*Metrica*）、《几何学》（*Geometrica*）、《立体测算》（*Stereometrica*）、《测量》（*Measurae*）、《定义》（*Definitiones*）等五种；（B）机械学：包括《气体力学》（*Pneumetica*）、《力学》（*Mechanica*）、《自动舞台》（*The Automaton Theatre*）以及讨论战争器械制造的 *Belopoeica* 和讨论发石机的 *Cheirobalistra* 等五种；（C）其他方面：还有《反射光学》（*Catoptrica*）和关于经纬仪和大地测量的 *On the Dioptra*。但这些作品中《定义》、《发石机》、《测量》、《立体测算》等数部，作者其实不确定，可能经后人编纂甚或是旁人作品。

在他这许多作品中最引人注意的是三卷本的《测算学》，它在西方长期失传，直到 19 世纪末，其 12 世纪抄本方才在伊斯坦布尔重新发现。其中首次提出了以赫伦为名的下列公式之证明（虽然阿基米德很可能已经作过此证明，但没有记录）：边长为 a，b，c 的三角形之面积为 $S=[s(s-a)(s-b)(s-c)]^{1/2}$，其中 $s=(a+b+c)/2$ 为三角形周长之半。同书还记载了开平方和开立方的反复逼近运算法，前者和我们已经讨论过的巴比伦算法基本相同，后者亦高度准确，而似乎尚未在陶泥板有记载。此外书中胪列了正 n 边形（n 从 3 至 12）面积的近似公式，但并不说明其为准确抑或近似，有些情况甚至给了两个不同公式，又列出许多不同平面和立体形体的面积、体积、表面积的计算式，它们都显示出与陶泥板上巴比伦数学完全一致的理念、方法。从此我们可以推测，在托勒密治下的亚历山大实际上有希腊和巴比伦这两个不同数学传统并存，而且后者具有强大生命力，一直到罗马时代甚至中古都仍然在发展中。

除了数学之外，赫伦还有不少其他重要发现和发明：在《反射光学》中他以几何方法证明，根据光线所经过途径必须为最短的原理，光

① 希斯对于赫伦的年代和作品有专章详细讨论，见 Heath 1965，ii，Ch. 18。

反射的入射角和出射角必然相等；在两卷本的《气体力学》中，他讨论流体压力的原理，然后描述了上百项相关机器和玩具，包括救火机、风琴、注酒器，等等，其中最令人惊讶的，也许是一个名为汽转球（aeolipile）的蒸汽推动的“旋子”（rotor）：中空的球形旋子支撑在轴管上，蒸汽通过轴管注入，然后通过处于旋子“赤道面”切线方向的多个管子排放，旋子因而会在蒸汽的反作用力推动下急速旋转。三卷本的《力学》则继承阿基米德静力学传统，从重量和力的原理开始，进而讨论平面体的重心计算；压榨机器；以及举起、移动和控制重物的方法，例如利用杠杆、滑轮、螺旋、滑橇，等等。

从赫伦的工作可见，虽然西方科学以崇尚推理的希腊几何学为核心和基础，但是也具有计算和实用传统，而且在很大程度上这两者是互相促进的。例如阿基米德的静力学理论之促进机械学，以及计算方法和三角学之促进天文学理论。

三、希腊—罗马的学术传承

古希腊哲学发轫于对大自然的好奇与揣测，“前苏”哲学就是自然哲学，在此阶段科学和哲学浑然一体，并无区分；柏拉图深受毕达哥拉斯教派影响，他承接了这个传统，因此他所主宰的“经典时期”成为科学飞跃发展的关键世纪。但这个发展其实并没有内在必然性：在柏拉图之前的苏格拉底视道德为至要，与他同时的“智者”则以论辩为能事，两者所关注的，都是城邦政治以及个人在其中的地位、责任、作用、意义，至于奥妙数学定理、缥缈来生的追求，乃至细致的科学观察，在他们看来都没有迫切和实在意义。这种入世倾向在亚里士多德之后的希腊哲学，亦即它从公元前 3 世纪开始的阶段，就明显地表现出来了①。

① 有关“中期柏拉图学派”和“新毕达哥拉斯学派”的论述，主要见迪伦的专著 Dillon 1977；至于希腊哲学传入罗马之后所引起的学术发展，则见罗森所著《罗马共和国末期的文化发展》，即 Rawson 1985；此外 Peters 1972，Ch. 9－11 对于早期罗马帝国的哲学发展也有整体论述。

希腊哲学的转向

在《几何原本》面世之初（公元前300），斯特拉托刚出任托勒密王朝的“少傅”，学宫仍处于草创阶段，新生的数理科学可以说是蒸蒸日上，处于迈向高峰的前夕，但希腊哲学本身却已经出现了大转向。继柏拉图师徒兴起的主要有三大派别，即伊壁鸠鲁（Epicurus，公元前341—前270）所创立的伊壁鸠鲁学派（Epicureans），芝诺（Zeno of Cyprus，公元前340—前265）所创立的斯多葛学派（Stoicism）①，以及源自皮罗（Pyrrhon of Elis，公元前365—前275）的怀疑论派（Scepticism）。这三派各有不同倾向和宇宙观，例如伊壁鸠鲁派以德谟克利特的“原子论”和由此发展出来的机械实证主义以及个人主义为思想基础；斯多葛派以赫拉克利特的“流变说”、“火之本质说”和“宇宙循环说”为依归；至于怀疑论派的论辩倾向则颇有类于苏格拉底的辩难法。它们的共同点是极为注重人生道德与伦理，也就是将眼光投向此生与社会。例如，如所周知，伊壁鸠鲁派追求快乐，即个人生命的宁静与安适（而非纵欲主义），斯多葛派强调理性、节制与平衡，怀疑论派则泯灭善恶是非，拒绝承认法律和德行有客观准则。所以，这三派的视野焦点都和学园昂首天外的学风有南辕北辙之别。

这些哲学思想的具体内涵并非我们所需细究，但必须指出，由于上述共同基本取向，它们无论与个别“前苏格拉底”自然哲学关系若何，都是不可能继续对科学发生刺激或者推动作用的。换而言之，从公元前3世纪开始，希腊科学与主流哲学已经分道扬镳：科学发展中心从雅典迁移到亚历山大，留在雅典的哲学流派则转向现实世界，亦即是说，柏拉图学园传统不但蜕变，而且被颠覆。他的大弟子亚里士多德喜好生物学而厌恶数学，科学理念已自不同，所以另起炉灶，创办吕克昂学堂。至于学园本

---

① 斯多葛学派在其源头与讲求独立特行，蔑视世俗制度、法规、礼仪的“犬儒学派”（Cynics）有渊源，芝诺本来信奉此派，后来才遍习各家然后自立门户。“犬儒学派”由高尔吉亚与苏格拉底的学生安第斯散尼斯（Antisthenes，公元前444－前366）开创，它代表愤世嫉俗的人生态度，但缺乏本身的建构性思想体系，所以在此不加论列。

身，则从第六任园长阿卡西劳斯（Arcesilaus，公元前315—前241）开始，逐步陷入怀疑论学风，至卡尼底斯（Carneades，公元前214—前129）而至极端，即抛弃一切建构性努力，专以攻击破解其他哲学思想（包括数学和斯多葛派）为能事，而这很可能是出于对日益壮大的斯多葛派之反应[①]。甚至当时如西塞罗那样的学者也为怀疑论辩解，称之为符合《对话录》中的苏格拉底诘难传统。但就柏拉图思想的整体而言，则无可否认这是个剧烈的基本转向，而且是对数学和科学发展都极端不利的。换而言之，从狄奥多西、博斯多尼乌以至曼尼劳斯、托勒密等三个世纪间（公元前150—公元150）的数学、天文学发展，主要是来自罗德斯岛和亚历山大科学传统的延续，它是得不到哲学思想之推动、激发或者浸润的。

哲学传入罗马

另一方面，正在崛起并且不旋踵就完全宰制地中海世界的罗马也并非科学发展的沃土。就罗马人之务实和专注于法律、政治，以及他们所承受的后柏拉图哲学氛围看来，这自然毫不奇怪。当然，罗马上层社会对于先进的希腊文化相当仰慕、尊重，乃至于热衷学习和吸收，自然科学亦并不例外。甚至，罗马学者亦不乏可以称为科学的著作[②]。但这不能改变一个基本事实，即是他们对于大自然本身缺乏好奇和热诚，不能够为科学理论的神奇与奥妙所激动而产生深入探索和追求新发现的冲动，而仅仅视科学为有用的常识。因此，科学在罗马世界的传播仅限于其粗浅和表面部分，这就是将希腊的各种手册加以翻译和根据需要重编，而少数罗马科学家的工作也都集中于资料的搜集、整理和排比，最后形成百科全书式的汇编。正如《罗马科学》作者斯塔尔所说，“对希腊人来说，大众手册是科学的

---

① 迪伦的《柏拉图的传人》是讨论柏拉图之后七十余年间（公元前347－前274）学园发展（即所谓“旧学园”）的专书，见Dillon 2003。该书最后一章（pp. 234－238）对学园为何急速转向怀疑论的问题有详细讨论。

② 有关公元前2世纪至公元1世纪间罗马在希腊哲学、文化方面的传承，见Peters 1972，Ch. 9；Powell 1995特别是其引言；以及Rawson 1985特别是讨论科学、医学和建筑的第11～13章和结语。

下等，但在罗马科学知识只有一个等级——手册的等级。即使是路克莱修、西塞罗、塞内加和普林尼这些求知欲最旺盛的罗马人，也都以从手册获得希腊科学知识为满足。”① 因此，罗马人所承受于希腊哲学、科学者，都限于粗浅和过时部分，至于深刻、精微和先进部分则全然无从窥见。例如，亚历山大时代的数学和科学著作几乎没有任何一种是在罗马帝国时代翻译成拉丁文的②；甚至柏拉图和亚里士多德的著作翻译成拉丁文的也是凤毛麟角，只有《对话录》中的《蒂迈欧篇》和亚氏的《范畴篇》、《解释篇》等少数几种例外。从此角度看来，数理科学在罗马帝国时代不能进一步发展，是不足为奇的。

无论如何，罗马之接触希腊文化是从公元前2世纪中叶开始，并且是借助于哲学的力量。最初罗马元老院感觉城中希腊哲学家过于活跃，因此勒令他们离境（公元前161），但随后雅典委派了由三位知名哲学家（包括怀疑论派大师卡尼底斯）组成的使节团到罗马斡旋某桩罚款问题，他们藉机发表演讲显示学养和才华，引起了相当的震惊和敬重（公元前155）。这也就成为一代之后罗德斯岛的潘尼提乌出使罗马，并且与最上层人物交往的先例。但希腊文化之真正传入罗马则是再下一代的事情：当时罗马将军苏拉（Sulla）围困雅典（公元前88），导致许多哲学家移居罗马，这包括年迈的怀疑论派哲学家费罗（Philo of Larissa，公元前159—前84）和他的弟子安条克（Antiochus of Ascalon，公元前130—前68）；翌年上一章提到的博斯多尼乌亦作为罗德斯岛使节来到罗马。当时西塞罗（Cicero，公元前106—前43）年方弱冠，正处于心智趋于成熟，求知欲最旺盛之际，所以不久就投入怀疑论派门下，受其哲学影响终身③。他后来成为罗马共和国末期的杰出律师、雄辩家、政治家，一度当选为执政官

---

① Stahl 1978，pp. 71 – 72。Peters 1972，pp. 372 – 375 也有相关讨论，他并在此论及希腊经典评注传统的兴起。

② 《几何原本》可能有相当部分曾经在公元前6世纪翻译成拉丁文，见 Stahl 1978，p. 201 以及 § 7. 8 的详细讨论。

③ 有关西塞罗的论述除了 Powell 1995 以外，见 Peters 1972，pp. 359 – 374；Stahl 1978，pp. 77 – 80。

（Consul，公元前66）并且位列元老院，但终于因为卷入政治斗争旋涡而在罗马帝国初期为政敌安东尼杀害。在政治和公共事务以外，他还是一位著作等身的散文家和哲学家，颇以在拉丁世界传播、发扬柏拉图和亚里士多德自任。他将《蒂迈欧篇》以及亚拉图的长诗《天象》翻译成拉丁文，这对此后西方宇宙观与通俗天文知识产生极大影响；他又撰著多篇模仿《对话录》体裁的哲学作品，也蔚为一时风尚。然而，说到底，他“既非专业哲学家，也不是原创性特别强的思想家”，而是个“被环境与本能带向公共领域中实务性工作”的人①。在他身上我们可以看到柏拉图的另外一条可能的人生道路——倘若这位雅典世家子弟没有遭遇苏格拉底的变故，而选择原先从政理想的话。

从他众多著作看来，在希腊与罗马文化交会点上的西塞罗对于哲学有相当的领会与向往，但对于自尤多索斯和欧几里德以来的数理科学传统则几乎没有涉猎，更说不上强烈感觉。他在这方面最重要的贡献无疑是翻译《蒂迈欧篇》，这倒是和他年轻时到南意大利的梅塔庞同寻访毕达哥拉斯神庙所表现的景仰之情颇为一致。西塞罗如是，和他大致同时而被尊为罗马最伟大学者的瓦罗（Varro，公元前116—前27）也颇为相近：他师从安条克，也同样从政并卷入政治斗争，但运气较佳，几经浮沉之后终于得以游心典籍，安享天年。据说他的著作多达六百余卷之多，题材无所不包，其中百科全书式的《学术九书》（*Nine Books of Disciplines*）名气最大，但传世仅得《论农业》（*On Agriculture*）和《论拉丁语》（*On the Latin Language*）两种而已。至于在他们之后一个世纪，即处于暴君尼禄时代的塞内加（Seneca the Younger，公元前3—公元65）则是伊壁鸠鲁派的雄辩家、哲学家、戏剧家，与科学关系更疏远了。他之一度把持朝政以致成巨富，以及最后被勒令割脉自裁，都是那个时代司空见惯之事②。

---

① 见 Powell 1995，p. 2。

② 有关瓦罗与塞内加，见 Peters 1972，pp. 365－367；Stahl 1978，pp. 74－77，此处特别提到：瓦罗著作大都源于各种希腊手册。

罗马科学：编纂与实用之学

第一代罗马学者接受了希腊哲学，却也没有完全忽略科学，这主要体现于路克莱修（Lucretius，公元前99—前55）的六卷长诗《自然之本质》（*De Rerum Natura*，即 *The Nature of Things*）①。路克莱修与瓦罗、西塞罗同时，生平没有任何资料可藉追寻。但他的作品文字流畅，感情强烈逼人，理路清晰，浑然自成体系，是绝少数能够天衣无缝地融铸哲学、科学、文学于一体的哲理诗歌上品。诗中的思想有三个紧密关联的方面：在哲学上，它讴歌乃至崇拜伊壁鸠鲁清净高尚，独与天地相来往的生活态度；在科学上，它宣扬源自德谟克利特原子论的物质主义（materialism），并且对于宇宙构造、起源、运行详加阐述，甚至对于生物、地质、海洋的嬗变提出一种进化观念，其影响一直及于拉马克、斯宾塞乃至达尔文——虽然很不幸，这不可避免地暴露了他的天文学知识是得之于传闻，而缺乏了解与理性判断；在宗教上，它强烈反对神与超自然的作用，认为都是无稽之谈。有人推测，他的名声和反宗教态度正就是基督教教父着意忽略、隐瞒他的生平，以致他的事迹隐晦不显之原因。整体看来，路克莱修虽然和科学发展说不上有多大关系，然而毫无疑问，他对于科学的传扬，以及科学在罗马文化整体中地位之建立，是有极大贡献的②。

比路克莱修晚一辈的是地理学家斯特拉波（Strabo）和建筑学家维特鲁威（Vitruvius，活跃于公元前27）。斯特拉波和天文学家托勒密（Ptolemy）一样生于罗马帝国治下，但在事业和学术传承上却完全属于亚历山大传统，应该视为罗马时代的希腊学者。为了方便起见，我们将他留待下一章与托勒密一起讨论。至于维特鲁威则和塞内加一样，生平也是一片空白，所遗留于后世者，只有十卷本的《论建筑》（*De Architectura*）③。此书所涵盖的范围很广，举凡各种不同建筑的设计原理、建筑师教育、城市与

---

① 此书有下列英译本：Lucretius/Leonard 1950；以及下列中译本：路克莱修/方书春 1981。

② 有关路克莱修的论述，见 Stahl 1978，pp. 80-83。

③ 此书有下列现代英译本：Vitruvius/Rowland 1999。

港口规划、建筑工程学、建筑材料等都包括在内，可以说是古代西方所流传的唯一一部设计与规划全书。

最后，我们来到了可以说是最重要的罗马科学家，即和塞内加同时的普林尼（Pliny the Elder，23—79）。他是不折不扣的罗马贵族，系出名门，功业彪炳，最后作为屯驻那不勒斯湾的罗马舰队司令，在维苏威火山大爆发中冒极大危险逼近观察而致丧生。他早年和许多其他贵族一样，承受罗马人文教育传统，研习修辞、雄辩以作为从事法律和政治生涯的准备。但除此之外，他对于历史、哲学乃至植物学也都发生浓厚兴趣，其后在领军作战途中还念念不忘搜集资料，编纂数种史书和文法、修辞著作，其中部分成为史家塔西陀（Tacitus，约56—117）著作的根据。

但这些不幸都已经失传，得以流传后世的是他的巨著《自然史》（*The Natural History*），此书可以当之无愧地称为古代自然知识百科全书①。它一共37卷，除了第一卷是自序以外，其余各卷又分为数十至一百余章不等，每章略约相当于现代百科全书中的一个辞条，全书合计达2600章，约百万字之谱。其内容大致如下：(1) 天文知识（卷二）；(2) 万国地理志（卷三—卷六）；(3) 人的历史（卷七）；(4) 动物学（卷八—卷十一）；(5) 植物学（卷十二—卷二十二）；(6) 动植物的应用，特别是草药（卷二十二—卷三十二）；(7) 金属与矿冶（卷三十三—卷三十四）；(8) 绘画、颜色（卷三十五）；(9) 石材与宝石（卷三十六—卷三十七）。从以上粗略分析可见此书基本上是一部“博物志”，其中大部分资料都与植物及其应用有关，这无疑是他早年曾经在植物园中跟随年迈学者卡斯托（Antonius Castor）研修的影响。至于天文学部分则只占很少篇幅，里面虽然多次提到喜帕克斯和他的发现，但显然对他的学说没有起码的了解，而只能够作浮泛的引述。例如，普林尼把斯特拉波所提到的已知世界地域和整个地球这两个观念混淆，从而宣称大地并非真正是球形；至于埃拉托色尼测量地球周长的方法他也不甚了了，在征引之余又表示存疑。很显然，缺乏数学，特别是几何学的基本训练，使得普林尼无法进窥希腊数

① 此书的现代英译本（十卷袖珍本）为 Pliny/Rackham 1938－1963。

理科学门径，他的巨著因而也只能够停留在编纂和描述阶段①。

从以上论述可以清楚地看到，罗马学风有非常强烈的人文与实用背景，影响所及，它的哲学偏向于人生伦理与现世，科学也局限于实用和编纂类型著作，数学和数理科学因而几乎没有任何发展空间。事实上，到了罗马帝国末期，即5—7世纪间，这趋势更为明显：百科全书的编纂将成为帝国学术主流，虽然独立于此潮流以外者仍不乏人。

四、毕达哥拉斯教派的重生

纯粹的数理科学未能在罗马社会生根发芽，不单因为它无法在帝国土壤获得滋养，更因为它遭遇到强有力竞争对手，那就是来自东方的宗教和教派。它们同样追求超越尘世的生命或者能力，然而却并不以数学、天文学的理性推论为达致超越境界的途径。这些教派的神异思想与观念在帝国广大疆土上泛滥，而且进一步渗透许多哲学流派，特别是重新出现的毕达哥拉斯学派和柏拉图学派——亦即是科学的后院，使得它们蒙上强烈的东方宗教色彩。这两个学派有三个很明显的特征：首先，是强调对教主毕达哥拉斯的尊崇，以及自远古以来的“教统”传承；其次，是对各种超自然力量的接受；最后，则是将宇宙主宰加以人格化和分为多层次的倾向②。

我们在本章余下篇幅将集中论述这两个学派以及其他相关教派，至于与其同时但彼此之间已经没有密切关系的数理科学发展——曼尼劳斯、托勒密、丢番图、泊布斯等的工作，则留待下一章讨论。

毕达哥拉斯的“复活”

毕达哥拉斯教派在公元前5世纪覆灭，在随后百年间为柏拉图学园所吸收，然后好像是完全消失，但实际上它只不过是融入和隐藏在希腊—罗

---

① 斯塔尔对普林尼有专章论述：Stahl 1978，Ch. 7。

② 有关新毕达哥拉斯学派的论述，见 Kahn 2001，Ch. 8；O'Meara 1989，Ch. 1；Dillon 1977，Ch. 3，7。

马文化意识底层。毕竟，毕氏教派发源和兴旺于意大利南部，是罗马人所能够认同和感到骄傲的文化符号与力量，所以它的事迹与观念仍然具有强大生命力，在适当时机就会爆发出来①。因此，在公元前3世纪初，毕达哥拉斯的雕像就已经以“勇敢希腊人”的姿态在罗马广场（Roman Forum）上竖立起来，其后不但毕达哥拉斯和阿基塔斯的名字在普林尼、西塞罗、塞内加、贺拉斯（Horace）、奥维德（Ovid）等拉丁名家著作中出现，而且，如上面所提到，西塞罗还到过梅塔庞同凭吊毕氏，并将《蒂迈欧篇》翻译为拉丁文，该篇经过历史学家普卢塔赫（Plutarch）详细评论后，对拉丁欧洲发生深远影响，历久不衰。同时，以素食、每日自省②，也许还有特殊葬仪作为特征的毕派生活方式也在罗马传播——例如瓦罗据说就是以毕派礼仪下葬。此外，依托伪造的毕派书籍、文献，即所谓“Pythagorean Pseudepigrapha”者也同时大为风行。

在此时期最热衷于毕氏教义的，是西塞罗的好朋友尼吉地乌（Nigidius Figulus，公元前98—前45）。他是罗马贵族，曾经出任大法官与行政官（praetor），并且卷入恺撒和庞培之间的斗争，但在个人生活中则致力恢复毕派教义、学术与提倡其生活方式、规范，甚至建立有组织形式的教派，因而对于像西塞罗和瓦罗那样的领袖人物发挥很大影响力，被称为“毕派信徒与法师”（Pythagorean and magus）——法师称号是因为相传他曾经行使法力（magic），并且认为毕氏本人也曾经得到东方哲人传授。可惜他在这方面的著作没有流传，仅得言论残片存于后人征引之中而已③。

至于所谓“新毕达哥拉斯学派”（NeoPythagoreanism）其实与“中期柏拉图学者”（Middle Platonists）几乎难以分辨——最少我们以下所讨论公元最初两个世纪（1—180）的五位学者就都被迪伦（John Dillon）视为

---

① 毕达哥拉斯学派在罗马的历史以及其“复活”经历见 Kahn 2001, Ch. 7 以及 Rawson 1985, pp. 291 - 294。

② 在所谓《毕达哥拉斯金句》(*Pythagorean Golden Verses*) 中这表现为每日“三省”，即自问“今日有何过错？有何成就？有何失责？”它和孔子的“三省”形成颇有意义的对照。

③ 尼吉地乌本人从何得到毕派的传授无法考证，卡恩（C. Kahn）认为这有可能来自埃及的波鲁斯（Bolos），但这完全是猜测而已，并没有确切证明。见 Kahn 2001, pp. 140 - 141；波鲁斯在下文有讨论。

“中期柏拉图学派”人物。他们以亚历山大哲学家尤多鲁斯（Eudorus，活跃于公元前25）和费罗（Philo of Alexandria，公元前20—公元50）为前驱①。尤多鲁斯致力于全面恢复毕氏学派，他自己的贡献在于提出至高无上的“一”（The Supreme One）作为宇宙基本原理（arche），而将从对立中产生数目及其他事物的“单”（Monad）和“双”（Dyad）降低为“元素”。这重新建立形而上学体系的努力一方面是对于怀疑论派之反动，另一方面则反映了犹太一神教的影响。在这一点上值得注意的是，亚历山大城从一开始就有大量犹太移民，而托勒密二世曾经邀请七十多位犹太学者为学宫图书馆翻译犹太典籍，从而使得该城成为犹太学术中心②。至于费罗（他比怀疑论派的费罗 Philo of Larissa 要晚 150 年）是希腊化的犹太学者，相传曾经见过第一代圣徒彼得。他认为神有三个不同层次：其最高本体是“祂”（He）；由之而生出的神圣原则是“逻各斯”（Logos）或曰“道”，再由之而生出的有两种能力，即创造神或曰“上帝”（God），以及统治神或曰“主”（Lord）。这反映了融合犹太一神观念和毕派抽象互补观念这两个不同宇宙系统之企图，但因此也就把一神观念复杂化了，所以他强调“神”的多个层次并非意谓其为多元或者有高低之分，而只是反映其不同方面的作用而已。他又强调神的超越性，即其不能够为人的智能所理解、企及——这显然是希伯来信仰压倒希腊重智观念的思想。他影响了早期教父，特别是亚历山大的克里门（Clement）与奥利金（Origen），以致自己一度也被误认为教父，其著作因此得以大量留存③。

算术与数目神学的发展

随后出现的两位新毕派学者是西班牙的摩德拉图斯（Moderatus of Gades，50—100）和来自约旦地区的尼高马可斯（Nichomachus of Gerasa，约 60—120）。他们和赫伦同时，以重拾毕派传统，特别是其数学传统为

① 尤多鲁斯和费罗的生平和学说在迪伦的专著中有详细讨论：Dillon 1977，Ch. 3。

② 有关犹太人在亚历山大的历史，见 Fraser 1972，pp. 54 – 60。

③ 有关费罗和基督教关系的研究专著，见 Runia 1993，特别是 pp. 335 – 342 的总结。

己任。摩德拉图斯是热切毕派信徒，认为柏拉图和亚里士多德的重要学说其实全得之于费罗莱斯、阿基塔斯等的传授。他自己的学说仅留存于波菲利、辛普里修斯等新柏拉图学者的征引中。它强调宇宙结构的认识无法通过言语，而必须借助于数目，正如几何必须借助于图形，文法必须借助于字母，但图形、字母、数目却并不等于比喻的事物本身，甚至“得意”可以“忘言”。这比原始粗糙的“数目即事物”观念自然进步得多，而且和现代科学以数学方程式来表达基本原理是相符的。他又阐发了毕派所谓三个“一”（the three Ones）的意义，认为这分别指至高无上原则（亦即柏拉图在《国家篇》中所提出的“善”，the Good）；理念；以及灵魂等三者。这日后成为西方形而上学大传统，为“新毕派”和继起的“新柏拉图学派”所承袭和发挥。

尼高马可斯比摩德拉图斯影响更大。他来自约旦河以东的犹大（Judaea）地区（那是以色列民族在其《圣经》记载中的核心居息地），和托勒密大致同时而稍早，是著名数学家和乐理学家，一共留下三部著作，即《算术导论》（*Introduction to Arithmetic*）、《数目神学》（*Theology of Numbers*）和《音乐手册》（*Manual of Harmonics*）[①]。其中《算术导论》脱离了《几何原本》将算术附丽于几何学的传统，是西方第一部独立成书的算术著作，流传极广，不但有拉丁文和阿拉伯文译本，而且成为通用教科书达千年（约200—1200）之久。它作了非常繁复详尽的数目分类，也记录了各种有关数列和级数的定则，更提到求素数的“埃拉托色尼筛法”。另一方面，它却抛弃了严格证明的观念，只是在通则之后附以例子作为说明，甚而轻率地根据一个或者数个特例推断出完全错误的通例，可以说是从希腊数学的严谨规范大大倒退了。不过，在其中也出现了新方向：首先，自然是算术之脱离几何，获得独立地位；其次，是希腊传统中第一个乘数表之出现；第三，是书中应用阿拉伯而非希腊数目字。除此之外，书中也提到了一些不那么简单的定理，例如将奇数系列依次作1项，2项，3项……之和，即作1；3+5；7+

① 关于尼高马可斯的生平和著作，特别是《算术导论》的内容，见 Heath 1965，i，pp. 97－112；《算术导论》有以下英译本：Nicomachus 1952。

9 + 11……的系列，那么所得结果都是立方数。除此之外，和早期毕派观念一样，《算术导论》亦将数目赋予人事观念、性格和性质：例如它有关于“充盈数”（abundant number）、“亏缺数”（deficient number）和“完整数”（perfect number）的讨论①；《数目神学》则更将数目和神祇相匹配起来，这成为日后所谓“数目神智学”（numerology theosophy）的滥觞。

最后，我们要提到新毕派殿军纽曼尼亚斯（Numenius of Apamea，活跃于150—176）②。他生长、活动于叙利亚北部的阿帕梅亚，与博斯多尼乌和艾安布里喀斯属同乡。他基本上是哲学家，致力树立毕达哥拉斯的道统，即认为毕氏为承受东方诸远古文明的最高智慧者，柏拉图则承受于毕氏，而此后的整个学园传统则为纷争、堕落的历史过程，必须与之划清界线，以“拨乱反正”。他这种“返璞归真”的渴望为随后的“新柏拉图学派”所发扬，其影响一直延续到文艺复兴时代乃至17世纪③。他的主要论著是《论善》（*On the Good*），其中心关怀无疑是“宇宙神学”，即阐明毕派“三位神”或曰三个“一”在存有、创造、建立秩序等三方面的作用以及其彼此间的关系。他的这一观念上承费罗与摩德拉图斯，而且与仍然在摸索阶段的基督教神学，特别是其圣父（上帝）、圣子（耶稣）、圣灵（逻各斯）“三位一体”教义极为相似④。纽曼尼亚斯之后，新毕派就结束了，但他们毫无例外的对毕达哥拉斯之尊崇和神化，则被继起的新柏

---

① 该书将数目分为三类：根据一个数目所有因子之和是大于、小于或者等于该数目本身，而将之分别称为充盈数、亏缺数和完整数；它又认为这和生物器官数目之过多、不足或者恰好是相应的。

② 有关纽曼尼亚斯的讨论，见 Kahn 2001, pp. 118－133；Dillon 1977, pp. 361－379；以及 O'Meara 1989, pp. 10－14。

③ 这见之于他的 *On the Secession of the Academics from Plato* 一书所遗留的残片，该论争文章的主要攻击对象是学园的怀疑论派；有关这方面的详细讨论，见 Boys-Stones 2001, pp. 138－142。该书的整体就是讨论这“返璞归真”，追溯本始哲学与神学的思想如何在中期柏拉图学者间发展，以及同样策略如何为基督教早期教父如克里门和奥利金所利用，以颠覆“外邦”（pagan）哲学。

④ 基督教“三位一体”的教义迟至公元3世纪初才出现，它的确切意义旋即引起激烈争论，直至公元4世纪末才大致止息，所以在时间上是略晚于纽曼尼亚斯时代的。这方面争论在中古经院哲学中又再度复活，几乎所有重要学者都卷入其中。

拉图学派所全盘接收。

五、柏拉图主义的地下世界

亚历山大大帝东征时将古典希腊文化扩散到东方，在其后数百年间，它强烈地渗透、刺激、融合当地各种信仰，由是而形成了众多“希腊化”（Hellenised）的东方教派。它们五花八门，洋洋大观，除了希腊化犹太教，以及由之而发展出来的基督教这两大宗教体系以外，还包括以下三大支：源于埃及的赫墨斯教派；源于两河流域以“法力”观念为中心的“神谕”信仰；以及从基督教衍生的灵智教派与摩尼教[①]。我们在此不讨论犹太教和基督教[②]，至于其他三支教派则由于其思想纠缠交结，而且都具有来源于柏拉图思想的共同宇宙观、人生观和救赎观，所以被迪伦统称为“柏拉图的地下世界”[③]。它们是了解“毕达哥拉斯—柏拉图”学派以及西方科学发展所必不可忽略的背景——而且，那并不限于罗马时代，同样的“复合结构”（complex）还将在中古和文艺复兴时代复活，而如所周知，源于赫墨斯教派的“炼金术”就是现代化学的前驱。

灵智主义

灵智主义（Gnosticism）思想的核心是：从至高无上，莫可究诘的“一”或曰神而产生物质世界是一个堕落过程；人的灵魂本来属于“灵界”（Pleroma），它之依附或者受奴役于物质，也就是受禁锢于身体，甚而忘却其本源而依恋尘世，是此堕落过程的反映。人要获得拯救，即回归灵界或重新与“一”结合，就必须真正认识到人本身的现状及其本源的真谛，这就是“真知”或曰“灵智”（Gnosis）。这种认识是有如大梦初

---

① 此扩散与融合过程在 Jonas 1958，Ch. 1 有综合讨论。

② 当然，基督教的形成与柏拉图学派有千丝万缕关系，但此庞大题材非我们在此能够讨论。下列著作对基督教出现的政治、社会、文化、宗教背景提供了全面的概括综述：Ferguson 1987。

③ Dillon 1977，pp. 384－396.

醒的觉悟，并非人本身所一定能够完成，而有赖于本身以外力量的协助。其方式可能是借着特殊的仪式、法力（例如在神谕和赫墨斯信仰），也可能是借着天上使者来到人间加以提示、点拨（例如在灵智信仰），而使者本身亦可能为此尘世旅程而蒙受污染、折磨，但至终则将扶持堕落的人重升灵界①。

显然，灵智信仰本来是从毕派—柏拉图永生思想发展出来，另一方面则受基督教救赎观念的刺激、启发。但它虽然具有毕氏教派根源，却与后者之间出现了三点基本区别。首先，“灵智”不再是单纯的，只具有认知意义的“知识”（Knowledge 或 Episteme），而成为具有体会、感受、“悟道”、“朝闻道，夕可死矣”意义的那种“道”或曰“真知”；其次，在灵智（但不是其他）信仰中，可感觉的世界亦即“尘世”基本是污秽和邪恶的（这一点它与基督教也大不相同）；第三，人的拯救与回归灵界不能够仅凭本人的修炼，而还得通过种种仪式、法力，特别是上天使者的扶持提携。整体而言，灵智信仰意味着从重智精神向重信的宗教精神之转变，但它仍然像毕派那样，凸显了追求遗失、遗忘或者隐藏的重要知识之渴望，因此可以视为希腊和希伯来两大传统融合的产物。

历史上的灵智教派其实是名目繁多的基督教异端之总称，包括西门派（Simon Magus）、曼达教派（Mandaeanism）、瓦伦廷派（Valentinianism），以及在遗留经卷（即未曾编入圣经《新约》的早期基督教文献）中所显示的基督教旁支，等等。它们有以下三个不同类型：首先，是反对耶稣或者与之竞争者，例如曼达教派尊崇施洗约翰而否定耶稣，魔法师西门则与耶稣门徒彼得比试法力。其次，是起源于基督教内部而后来被判断为异端者，例如瓦伦廷派。最后，则是大量遗留经卷例如《真理福音》、《多马福音》、《腓力福音》、《彼得与十二门徒行传》等等所显示的，在正统圣

---

① Gnosticism 的意译是“灵智主义”，但亦有译音为“诺斯替主义”的。有关灵智教派的资料和讨论，见 Ferguson 1987，pp. 300 – 316（综合论述，包括灵智主义与早期基督教关系）；Jonas 1958 的研究专著（最近此书已经有中译本）；van den Broek and Hanegraaff 1998（论文集）；van den Broek 1996（个人论文集）；以及下注所引的 Nag Hammadi 灵智教派经卷与相关论述。

经《新约》以外的早期基督教思想、传统。本来，在基督教取得宰制性地位以后，所有这些异端、旁支、敌对教派都受压制而逐渐消失了，所以对它们的了解向来极为困难，主要只能依赖早期基督教教父的攻击文字，即所谓“异端学”（heresiology）文献。然而，这情况由于1945年在上埃及的 Nag Hammadi 发现了成书于350年左右的52篇原始《科普特文灵智经卷》（*Coptic Gnostic Codices*）而完全改变①。基督教最早期许多旁支的观点、立场自此可以直接研究、探索，从而显示出与正统基督教完全不同的多个其他旁支的面相。除此之外，摩尼教（Manichaeism）也应当视为灵智教派的一支。根据1970年在埃及发现的《科隆摩尼经卷》（*Cologne Mani-Codex*）②，其教主摩尼（Mani）降生于216年，在伊拉克南部一个犹太—基督小教派中成长，后来另行开宗立教，其教义包括波斯、灵智和基督教成分，而且予基督教以特殊地位。它曾经风行欧亚和中国，后来受压迫而灭绝③。

最后，作为西方宗教主流的基督教是个庞大、繁复的思想体系。它虽然是由犹太教衍生，但其思想、神学却并非完全来自希伯来信仰。它的核心教义例如灵魂不灭、永生、堕落、拯救、复活、三位一体，等等，都与现在逐渐被发掘、认识的迦勒底—灵智—赫墨斯信仰相当接近，而并非原始的希伯来“耶和华信仰”所具有，甚至是耶稣同时的犹太律法师所不能接受：耶和华信仰所强调的，只不过是属于犹太民族的全能、公义、独一无二之神而已。而且，基督教虽然是在公元前后发源于巴勒斯坦，但圣经《新约》的四福音书之形成则迟至公元1世纪末至2世纪，至于其核心神学观念，例如“三位一体”说则形成于2—3世纪之间，亦即是与中期柏拉图哲学同时，因此后者对此形成过程的影响、刺激是有迹可寻的。这

---

① 这些经卷经过许多学者的协同整理、英译、研究，已经两度结集出版，并且陆续有研究专集问世。见 *The Nag Hammadi Library in English* 1988，此为1977年初度英译出版之后的修订版，每篇经卷前都附有导言。

② J. van Oort, “Manichaeism: Its Sources and Influences on Western Christianity”, in van den Broek and Hanegraaff 1998, pp. 37–51.

③ 见林悟殊：《摩尼教及其东渐》。北京：中华书局1987。

一过程现在已经无法详细考究了，但中期柏拉图学说和灵智主义无疑都还可以为它提供重要的背景资料①。

迦勒底神谕

《迦勒底神谕》（*Chaldean Oracles*）被“新柏拉图学派”视为与《蒂迈欧篇》有同等重要性的“圣经”。它的原典相传是公元2世纪末的朱利安父子二人即“迦勒底人朱利安”（Julian the Chaldean）和“法力师朱利安”（Julian the Theurgist）得之天授，但原文已经失传，现在遗留的只有两百多简短残片，其意义得通过新柏拉图学派的著作加以诠释才可以大致推测②。从迦勒底这地名推测，《神谕》信仰可能起源于两河流域，但这并没有其他证据，而传说中最初出现的求雨“法力”，则是“迦勒底人朱利安”在173年随从罗马皇帝马可奥勒利乌斯（Marcu Aurelius）出征时行使于巴尔干半岛的罗马军中。这信仰是个相当繁复和全面的系统，包括宇宙论、神学、救赎论，等等。这些和灵智教派大同小异，不必详细论述，值得强调的是它的两个特点，即神祇和精灵众多，以及对于仪式、法力的注重。

在《神谕》宇宙体系中，相当于柏拉图“一、理性、灵魂”三层存在结构的，变成了更为拟人化的“第一神/父、第二神/创造神、阴性的世界灵魂”三层结构，而且名目变化多端。但更重要的，则是在此高高在上的理性结构与现实的观感世界之间，还有许多次级神祇，例如：（i）沟通天父与尘世的使者“英格使”（Iynges），它亦代表意念本身；（ii）维持宇宙各部分和谐的“联系者”（Connector）：灵魂得借以上升天界的阳光线就是其中一种；（iii）统领“三界”即物界、气界、天界的所谓

---

① 对此问题的详细讨论，见Dillon 1997，特别是其中以下两篇论文：VIII“Logos and Trinity: Patterns of Platonist Influence on Early Christianity”；IX“Pleroma and Neotic Cosmos: A Comparative Study”。以上第一篇文章对于三位一体教义与《蒂迈欧篇》以及费罗、纽曼尼亚斯等学说之关系的讨论尤为重要。

② 这些残片有下列英译本：*The Chaldean Oracles* 1989，其长篇导言对了解《神谕》颇有帮助。此外Dillon 1977，pp. 392–396对《神谕》的形而上结构以及其与纽曼尼亚斯的关系也有讨论。

“始动者”（Teletarch）；（iv）各种天使（Angel）和恶毒或善良的精灵（Demon）；（v）“光阴神”（Aion）和“爱神”（Eros），等等。显然，这些大都是把传统或者地方神祇收纳到一个理性化系统里面的结果，所以它们有两重特点：一方面其功能有种种理性解释，但另一方面又与下述法力运作有关。

法力（Theurgy）是《神谕》信仰最核心的部分：道斯（E. R. Dodds）称之为“用在宗教目的上的魔法 Magic”①。特鲁亚尔（J. Trouillard）则将之等同于天主教的“圣事”（Sacraments）②，借以凸显法力是通过具体，无可解释或者理解的仪式，包括呼喊特殊名号等，来达到与神祇沟通或者合一之目的。但无论其理想化目标如何高远，法力运作的本身显然总离不开其法术或者魔法根源。这包括：（i）与神祇“通灵”（Conjunction），主要靠呼叫特殊名号，或者埋藏或起出植物、石头等信物；（ii）“召唤”神灵（Conjuration），这是以藏在神偶体内的信物招引之，或者通过“灵媒”（Medium）降神，包括附体（Binding）和解送（Loosing）两个步骤——在这一点上，我们自不能不注意到，耶稣所赋予门徒彼得的大能主要就是这两项；（iii）应用“法器”如晃动的金属球、鸟、牲祭、护符、符石等来招神或者驱邪，或者达到其他更现实的目的，例如降雨；（iv）元神（即灵魂，或者其部分）的“霄升”（Anagoge），这一般要通过种种洁净仪式，包括躯体的“闭眠”来达到，但冥想是否其功夫的一部分，则有争议。

赫墨斯教派与炼金术

灵智教派的内核是基督教，迦勒底神谕的内核是法力，至于赫墨斯信仰的内核则是冶炼术，但无论其内核为何，这三者都同样接受了毕派—柏拉图学派的神学架构。三者之中，神谕出现较晚，但历史、地望难以考证，灵智教派起源比较清楚，只有赫墨斯信仰（Hermetism）的背景、根

---

① Dodds 1957, p. 291.

② *Chaldean Oracles* 1989, p. 23.

源争议最大，一直要到最近才逐渐在学者间形成共识，即它其实起源于埃及本土宗教以及附属的魔术、冶炼术、星占术，等等。托勒密王朝建立以后三百年间（约公元前300—前30），这一套起源于埃及本土的思想、信仰和技术在希腊政治和文化长期压力下逐步希腊化，从而形成包含多种貌似互不相干成分的奇特教派①。它开山祖师的名号："三威赫墨斯"（Hermes Trismegistus）就是由埃及智慧神透特（Thoth）与希腊信使和言语、发明之神赫墨斯（Hermes）融合而成的神化人物——它亦可能包括祖孙二人，"三威"（Thrice Great）一词有一说是指其具有矿物、植物、动物三方面的知识；此外，从其对音乐的重视，可以推断和毕氏教派有特殊关系②。

从典籍上看，赫墨斯信仰比较明确的部分是"哲理性"或宗教的，这以传世文献为主，包括（i）17篇希腊文的《赫墨斯经典》（*Corpus Hermeticum*）；（ii）拉丁文的《阿斯克勒庇俄斯（药神）》（*Asclepius*）；（iii）亚米尼亚文的《赫墨斯问答》（*Hermetic Definitions*），这些大致出现于公元100—300年；（iv）三篇科普特文的Nag Hammadi出土经卷；（v）《绿玉版》（*Emerald Tablet*）③。这些文献没有受基督教影响的痕迹，但却显示出与基督教思想非常相似的平行发展，以及若干埃及法术（例如制造和驱动神偶之法）的遗留，而在《阿斯克勒庇俄斯》之中，还有关于埃及"正教"行将覆灭以至全然失传，为后人所遗忘的奇特悲剧性预言。

除了上述"哲理性"文献之外，赫墨斯教派还有来源和性质庞杂的

---

① 赫墨斯教派的现代研究，见 Fowden 1986，Ch. 1，以及 *Hermetica* 1992 的导言。

② van den Broek and Hanegraaff 1998，Ch. 11.

③ 《赫墨斯经典》18篇连同拉丁文的《阿斯克勒庇俄斯》有哥本哈法（Brian P. Copenhaver）的英译本，书前并有长篇导言和讨论，见 *Hermetica* 1992。科普特文经卷见 *Nag Hammadi Library* 1988，pp. 321－338，其中最后一篇是科普特文的《阿斯克勒庇俄斯》部分译本。《绿玉版》篇幅甚短，但影响极大，炼金师都奉为圭臬；它最早出现于9世纪的札贝尔文献，但相传是1世纪的新毕达哥拉斯派学者阿波隆尼亚斯（Apollonius of Tyana）所作，见 Holmyard 1968，pp. 97－100，以及 Linden 2003，pp. 27－28 的讨论和译文。

所谓“技术性”文献，即《赫墨斯文献》（*Hermetica*）[1]。它们大致出现于公元前250—公元300年，内容广泛，包括魔术、占星、医学、矿物、冶炼，等等，大部分只是以草纸（papyrus）零碎片段的形式留存。这些文献不一定形成同一思想、宗教或者知识体系，只不过因为内文将作者归为赫墨斯，或者其性质被认为属于赫墨斯系统而已。事实上，如多位学者指出：“宗教性”和“技术性”的赫墨斯文献并没有清楚划分的可能，在观念上两者相通，在实际上它们也是混合、重叠的[2]。西方“炼金术”（alchemy）一词可能源出埃及远古的金属冶炼和织物漂染技术：*Chema* 指黑土，即各种冶炼原料所出，此词传入阿拉伯后变为 *al-Chemie*，回归欧洲后再变成 alchemy。因此，炼金术这一小传统在其根源处也是科技、宗教、哲理的混合物和共生物。由于它出现较晚，而且同样是以宗教、哲理为主导，所以也深受希腊科学传统，特别是亚里士多德的哲学以及“四元素说”的影响。

这方面最早，也最有名的作者是波鲁斯（Bolos Democritus of Mendes，活跃于公元前200），他是希腊—埃及混合人物，被尊为西方炼金术之父，相传《论自然与神秘事物》（*Physica et mystica*）即为其所著，虽然这大有争议[3]。此书包含大量工序、方剂的描述，被认为是“最早之化学论著”。它分为制金、制银、制宝石、制紫染料等四部分，大概是搜集、整理传统配方而成，特点是有明确中心思想，即通过淬炼、漂染、融合、着色、磨砺等工序，可以将低贱金属的外观改变成贵金属，如金、银，而且，只要

---

① 林顿所编的《炼金术读本：从三威赫墨斯到牛顿》提供了多篇有代表性的古代与中古炼金术文献，包括《赫墨斯文献》的若干篇章。其导言并对炼金术作了鸟瞰式概观，见 Linden 2003。

② 见 Copenhaver 在 *Hermetica* 1992，pp. xxxii－xxxiii 的讨论和征引。

③ 波鲁斯又称“Bolos Democritus”或“伪德谟克利特”（Pseudo-Democritus），因为他的作品也被认为出自德谟克利特传人之手——事实上，他很可能是将埃及工艺、技术加以搜集、整理，然后披上希腊哲学外衣者。有关他的记载与讨论，见 Holmyard 1968，pp. 25－26；Linden 2003，pp. 8，38；Peters 1972，pp. 434－436；此外尚可参考 DSB/Bolos/Bashmakova。《论自然与神秘事物》的作者与年代有许多争议，但一般认为在1世纪左右，其有关制金、制银的片断选译，见 Linden 2003，pp. 38－43。

外观高度相似，那么细微差别并不重要——由于当时如何判断金属本质还不清楚，这种思想是很自然的：显然，这很可能就是炼金术思想的根源。在波鲁斯之后最有名的文献是公元200年左右的莱顿草纸方（Leiden X Papyrus），它包含111道冶炼工序，以及斯德哥尔摩草纸方（Stockholm Papyrus），它包含154条染料方剂，两者都很简略，属备忘、提示性质而非课本。

炼金术的第一位历史而非传说人物当是来自上埃及的佐西莫斯（Zosimos of Panopolis，活跃于公元300年），但我们对他所知极其稀少，主要是他留下的多种希腊文、叙利亚文与阿拉伯文著作，包括一部28卷本的百科全书。它的最大特点是庞杂，也就是将少数切实的化学与冶炼工序（例如制造"白铅"以作为假银的方法）混入荷姆雅德（Holmyard）所谓"令人迷惑的埃及魔术、希腊哲学、灵智思想、新柏拉图思想、巴比伦星占学、基督教神学、异教神话等形成的大杂烩，加上其谜样的泛指性文辞，使得有关炼金术资料的解释非常困难与不确定"①。这是将起源于工匠冶炼术"哲理化"以求提高其声望的过程，也就是一方面把它附会于赫墨斯、柏拉图、摩西、母神艾西斯（Isis）等，另一方面把它的内容消化于哲学与宗教象征、寓言之中。这个趋势以后一直发展到7世纪的斯特凡诺斯（Stephanos of Alexander，约600—650）。他是位学问渊博的哲学家，与东罗马帝国皇帝赫勒克拉奥斯一世（Herakleios I，610—641）同时而且颇受礼遇，曾在拜占庭讲授数学、天文学、音乐以及柏拉图和亚里士多德，主要著作有分为九章的《炼金术》（*De chrysopoeia*）演讲集。它视野开阔，辞藻华丽夸诞，其基本观念是，提炼纯净黄金并非止于技艺，而犹如人之修炼心灵，以求恢复其原本高贵的神性。这观念可以称为"性灵炼金术"，它与哲学、宗教观念交融，对后世影响很大，一直延续至中古后期。而且，炼金术之传入伊斯兰世界，就是通过他的弟子莫里安纳斯（Morienus）②。

---

① 见 Holmyard 1968，pp. 27 – 29；DSB/Zosimos/Plessner。例如林顿在 Linden 2003，pp. 50 – 53 所节译的《异象》（"Vision"）就是充满象征的冶炼寓言。

② 有关斯特凡诺斯见 Holmyard 1968，pp. 29 – 32；Linden 2003，pp. 54 – 60。有关性灵炼金术的详细讨论见 van den Broek and Hanegraaff 1998，Ch. 10。

六、新柏拉图学派及其转向

我们在上面提到柏拉图学园“旧传统”，也就是直接继承柏拉图思想乃至讲学规制、场所的所谓“The Old Academy”（这大约以苏拉在公元前88年焚掠雅典为下限）之逐步陷入极端怀疑论。但这到卡尼底斯就无以为继了，因此拉理沙的费罗已经开始改变，他的弟子安条克更与乃师决裂，接受斯多葛派的“现实主义”，即重新承认通过观感认识客观世界的可能，并且强烈否认怀疑论派是直接继承柏拉图的正统①。事实上，其思想的根本转变结束了学园传统的怀疑论，此后柏拉图学派进入中期，即是以前述尤多鲁斯和费罗为前驱的“中期柏拉图学派”。它大体上与新毕达哥拉斯学派同时，即活跃于公元头两个世纪，而且，两者在思想上也有相同根源。正如迪伦所说：“在这时期（按：即柏拉图学派中期）毕达哥拉斯以及被认为是他的那些教义的影响始终占据主导地位。在所有类型的柏拉图派学者当中，柏拉图基本上被视为毕达哥拉斯的学生（无论其是否有原创性）的观点不断加强和深化，并且在那些决然自称为毕派信徒的人中间达到极端。”② 至于从3世纪开始的“新柏拉图学派”（NeoPlatonism）则是以积极关注宇宙秩序与人的关系为出发点，但它很快就受到多方面宗教思想冲击，从而再一次发生基本蜕变③。

开山宗师柏罗丁

开创“新柏拉图学派”的，是被认为西方古代哲学家中仅次于柏拉图与亚里士多德的柏罗丁（Plotinus，205—270）④。他在上埃及长期受业

---

① 见 Dillon 1977，Ch. 2，特别是 pp. 56 - 69 有关安条克思想大转变以及其“科学现实主义”的讨论。

② Dillon 1977，p. 51.

③ 有关新柏拉图学派的论述，见 Smith 2004；Peters 1972，Ch. 18；O'Meara 1989。有关新柏派所受各种教派以及基督教的冲击，见 Peters 1972，pp. 421 - 445，671 - 681。

④ 有关新柏拉图学派与柏罗丁的论述，见 Wallis 1972；Shorey 1938；Mayhall 2004；以及 Smith 2004。

于不见经传的沙喀斯（Ammonius Sakkas），但显然没有受到任何埃及神秘主义或者宗教影响，中年后参军以求往中东和波斯寻访贤哲，但不成功，遂改赴罗马（244），并且得到罗马皇帝赞助逗留讲学，以迄死于恶疾。他留下了著名的《九章书》（*Enneads*），这巨著基本上是柏拉图哲学的系统化和深入开展，其核心是讨论处于观感世界之上的实体（hypostases），即“一”（One）、“理智”（Nous）、灵魂这三层结构，以及其与个人的关系，整体倾向则是将哲学发展成诉诸理性的宗教关怀。如肖里（Shorey）指出，这是纯属智性而非来自痛苦、恐惧等尘世感情的宗教情怀，它也许最能够以柏拉图《斐德罗篇》的描述加以表达：“那诸天之上的天，又有哪一位尘世诗人曾经或者可能如份颂扬？……彼处长存的，是无色、无形，不可捉摸，只能以心智忖度的，作为本质的神灵——其美好不同于……任何具体事物，而是绝对、独特、单纯、永恒的——它是所有其他事物必然泯灭的丽质之泉源和起因。”① 从科学角度看来，柏拉图承接毕达哥拉斯思想，强调宇宙奥妙的探索（特别是数学）是通往永生之道；柏罗丁则越过也放弃了数学（以及其他自然现象探索）的凭藉，直接通过个人经验的反省和理智来构想宇宙最高原理。和新毕达哥拉斯教派或者灵智教派一样，这原理基本上仍然以人的自我反省、提升和拯救（即回归与“一”的结合）为核心，至于自然世界之了解则已经沦为次要。这可以说是柏拉图哲学在东方宗教关怀强大冲击下的转向，即脱离科学，转向形而上学建构。

命运转变枢纽波菲利

作为开山宗师，柏罗丁名声显赫，影响深远，但他这一学派之得以光大，其来自巴勒斯坦的门徒波菲利（Porphyry of Tyre，233—305）实功不可没：不但《九章书》之编纂以及柏罗丁传记的撰写都是其功劳，而且他自己也有大量著作，但这些却表现了与乃师不相同的独立倾向。首先，是向毕派回归，这表现于他的毕达哥拉斯传记、《几何原本》评论，以及

---

① *Phaedrus* 247C，作者根据 Jowett 英译本翻译；参见 Shorey 1938，p. 42。

关于素食和其他仪式的著作。其次，是他撰写了著名的《反基督徒》一书，其中最重要的论据是：最高原理亦即上帝决不可能“实体化”成为肉身。这导致比他晚一个多世纪的奥古斯丁在其巨著《上帝之都》（*City of God*）中感到有必要用大量篇幅来讨论和反驳波菲利。最后，他开始接受来自两河流域的《迦勒底神谕》法力观念。对于这来自东方的怪力乱神，柏罗丁采取“存而不论”的态度，认为即使实有其事，也仅属观感世界的特异现象，所以不值得讨论。但他一旦逝世，波菲利就成为抄传、散播、讨论《神谕》，并且将之结合到新柏拉图学说中的始作俑者。他这一基本态度转变，无疑是导致新柏拉图学派从哲学急剧转向宗教的关键。不过，在当时的文化氛围中，此转变也许是势所必然的了①。

从哲学转向法力的巨变

3世纪末是基督教大举扩展，行将成为罗马国教的前夕。在此时期新柏拉图学派同样在宗教追求上变本加厉，一往无前，其代表人物是波菲利的门徒，后来回到叙利亚本城讲学的艾安布里喀斯（Iamblichus of Apamea, 250—325）②。他性格坚强，思想敏锐，更对于毕派和《神谕》充满强烈宗教热诚，甚且远过于乃师，影响亦绝不逊色。他著作等身，关于毕派学说的有尼高马可斯《算术导论》的评论、《论毕氏生活方式》（*On Pythagoreanism*）、《算术的神学原理》（*The Theology of Arithmetic*）以及毕氏传记；虽然他和波菲利以及普洛克鲁斯的《神谕》注释都已经湮没，但《论秘法》（*On the Mysteries*，这成为研究《神谕》的基本文献）、《论灵魂》（*On Soul*）、《神学原理》（*Principle of Theology*）诸书都流传③。我们

---

① 见 Peters 1972，pp. 671 - 677，在此彼得斯将波菲利的内在紧张归结为代表柏拉图理性的“理论”与代表《神谕》的“实践”之对立与和解。

② 波菲利和艾安布里喀斯的毕氏传记俱见 *Pythagorean Sourcebook and Library*；该书亦收入同期哲人、传记家第欧根尼（Diogenes Laertius）的毕氏传记，该传原为 Diogenes 1965 中的一篇。

③《论秘法》、《算术的神学原理》、《为哲学呼召》（其中包括他与波菲利讨论《神谕》的文献）、《毕氏生活方式》等书都有译本，分别见 Iamblichus/Taylor 1984；Iamblichus/Waterfield 1988；Iamblichus/Johnson 1988；Iamblichus/Dillon and Hershbell 1991。

由是得以知道他对于法力有非常积极的态度：波菲利对于法力尚有保留，认为它只是在观感世界中的特殊感应现象，能力并不企及上天；艾安布里喀斯则认为，通过仪式所施行的法力，也就是通过操纵、控制具有象征性的事物，的确可以影响乃至强制宇宙至高力量的运作。因此彼得斯说，"在艾安布里喀斯手里，理性传统受到了致命打击"，"早期思想家曾经将东方智慧与希腊观念并列，但艾安布里喀斯更进一步。这已经不再是东方智慧的问题：作为'法力神学'（theourgia）的拥护者，他认为东方教派及其仪轨不只及得上而且超越希腊教派。"① 值得注意的是：这种可以称为"神圣仪式神学"（sacramental theology）的思想虽然起源于原始宗教中的魔法，然而它和基督教的"圣事"观念，特别是圣餐中的实体变化说（transubstantiation），其实完全相通。不但如此，甚至也有论者认为，这种观念之在16—17世纪之交再度盛行，是和当时学者之渴望操控宇宙的巨大力量相关，而那又是促成现代科学出现的一个深层心理因素②。

这样，在柏罗丁之后，亦即从3世纪末开始，新柏拉图学派就从以理性为基础的宗教哲学变为带有浓厚神异气质的哲学—宗教复合体。事实上，从3世纪的波菲利至5世纪的普洛克鲁斯，所有新柏拉图派学者无一不倾倒于《迦勒底神谕》，将之与《蒂迈欧篇》并列，视之为犹如基督教《圣经》那样具有无上权威的天授之作。而且，这特殊的思想形态将在文艺复兴时代复活并且蔚为风尚，甚至有人企图以之与基督教争一日之短长。因此，在罗马时代超自然力量之追求已经逐渐变为西方文明底层的一股重要力量。

---

① Peters 1972, p. 677.

② Yates 1964, pp. 447 - 451；详见§11.6。

第七章　古代宇宙观的完成

西方古代科学奠基于雅典，发扬光大于托勒密王朝的亚历山大，而完成于罗马帝国治下的亚历山大。说古代科学之“完成”，主要指天文学家托勒密，特别是他的《大汇编》。此百科全书式的巨著融会了大量前人工作与作者自己的观测和理论创见，它们构成了一个宏大、完整的宇宙体系，其结构之严密，计算之精确，令人赞叹、膺服，因此直到 15 世纪仍然为西方学术界宗奉。除此之外，托勒密还有地理学、光学、乐理学等各方面的重要作品，以及多部技术性天文学著作，因此他的确是为西方科学整体作出了总结。至此，毕达哥拉斯所开创的宇宙奥秘之探索就完成了，而且是完整地结集在一套经过周详计划的巨著之中。不过，“完成”也就意味“结束”。正如古代数学的进一步发展有待代数学出现，同样，古代天文学的进一步发展也有待地心说、天体运行轨道由圆形组成等基本观念之转变，而这是 1400 年后的事情了。

托勒密和雅典以及亚历山大早期科学家不一样，他是一位独立苍茫的人物，没有朋辈交往，师承无从考究，而且后继无人。他和上一位大师喜帕克斯相隔将近三个世纪，两者之间虽然出现了几位数学家、天文学家，却都缺乏气魄和创见，不像是能够教诲、激发托勒密的人。唯一例外是比他长一辈、发明三角学的曼尼劳斯，那有可能是他的老师。但很可惜，我们对曼尼劳斯一无所知，他和托勒密之间即使有任何关系那也完全隐藏在黑暗之中。然后，好像是后代震惊于他之壁立千仞，高不可攀而为之却步，在托勒密完成大业之后 700 年间，竟然再无值得称道的天文学家出

观。换而言之，在古代西方他竟成绝响了！这反映的当是希腊科学传统自喜帕克斯以来就失去动力，曼尼劳斯和托勒密都是突出的个别天才和例外，他们所代表的并非这大传统之复兴，而是其夕阳西沉之前的回荡晚钟。就数学而言，托勒密之后的算术家丢番图、几何学家泊布斯，恐怕也当作如是观。

一、亚历山大科学的最后光芒

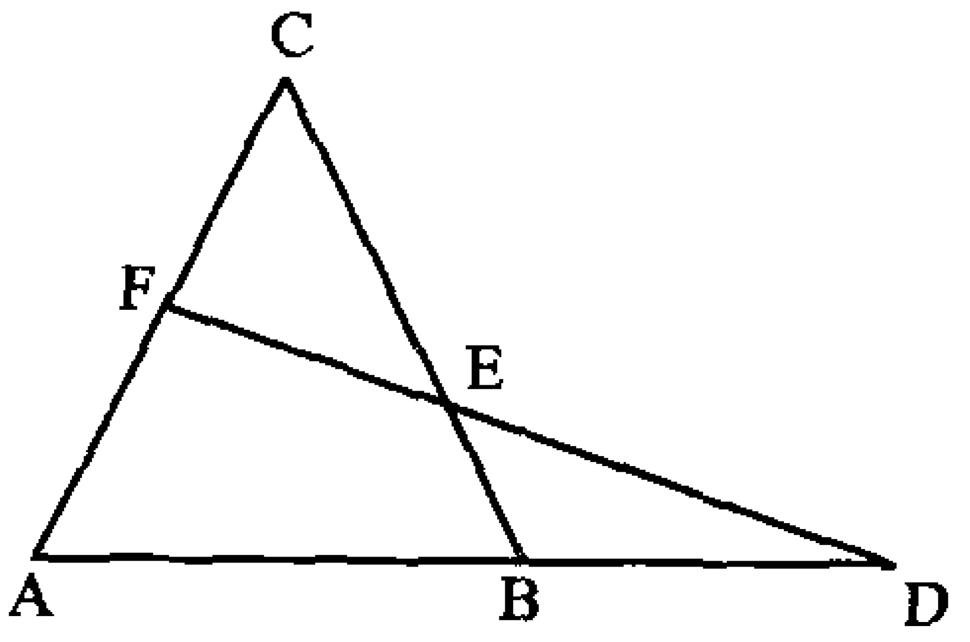
到公元1世纪末年，在经历两三个世纪的征服、扩张、内战、宫廷斗争之后，从小邦蜕变为庞大帝国的罗马终于成熟，能够在和平中享受繁荣昌盛了。因此，吉朋（Edward Gibbon）的《罗马帝国衰亡史》劈头便宣称："在公元2世纪，罗马帝国包括了地球上最美好的地方，以及人类最文明的部分。"稍后他说得更具体："倘若要在世界历史上找出人类最幸福和繁荣的时期，那么我们会毫不迟疑，将之定为自图密善（Domitian）之死至康茂德（Commodus）登基之前。当时统治罗马帝国广大幅员的，是受德性与智慧指引的绝对权力。相继四位皇帝才德服众，以宽猛相济的手段控制军队。内尔瓦（Nerva）、图拉真（Trajan）、哈德良（Hadrian）以及安东尼诸帝（the Antonines）都是宽大为怀，敬重法律，谨慎依循行政规章的。"① 他所颂扬的这八十多年盛世（96—178）正值曼尼劳斯和托勒密在世之日，当时埃及已经是罗马皇帝治下一个兴旺的直隶行省，更且成为与印度之间的海上贸易枢纽，所以亚历山大的国际都会地位不但没有丧失，反而更臻稳固了。不过，必须强调，如本章开头所说，曼尼劳斯和托勒密都是盛世中的孤独人物，正可谓"冠盖满京华，斯人独沉吟"。他们所代表的，只是古希腊科学传统在没入漫漫长夜之前的回光返照而已。

曼尼劳斯（Menelaus of Alexandria，约70—130）的生平我们所知极少，只是根据《大汇编》的记载，得知他早年在亚历山大，壮年在罗马

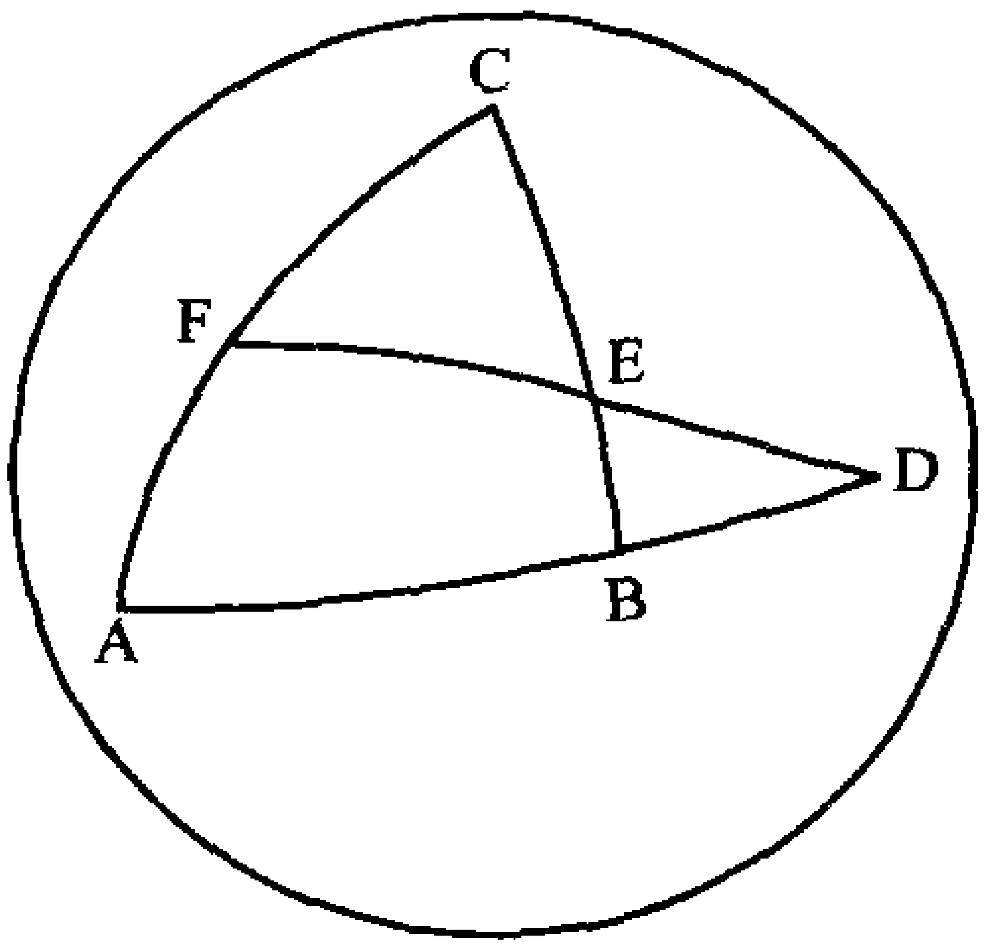
---

① Gibbon 1932，i，pp. 1，70.

作过多次天文观测和对话，除此之外就一片空白了①。所幸他的三卷《论球面》（*Sphaerica*）得以通过阿拉伯文译本流传，此外据说他还有名为《几何原本》和《三角书》的著作，但都已经失传。他的《论球面》实际上是球面三角学的开山之作：第一卷是有关球面三角形（他定义为由球面大圆所构成的三角形）的几何学，其中包括球三角形三内角之和必然大于180°的证明；第二卷是球三角与天文学关系的论述，内容略相当于狄奥多西《论球面》第三卷而有所推广，证明则较为简洁；第三卷亦是最重要的一卷则是球面三角学的论述，在其中他继承了喜帕克斯弦表的做法，以圆心角所张弦线长度作为基本函数，它相当于正弦函数（定义见§5.6），唯所定圆半径不一样。全书最基本的，是此卷第一道定理，它将欧几里德时代发现的三角形诸边的切割定理 AD · BE · CF = BD · CE · AF（图 7.1a）推演到球面三角形：sinAD · sinBE · sinCF = sinBD · sinCE · sinAF（图 7.1b），其中 sinAD 是指球面上大圆弧 AD 在球心所张角度的正弦函数，余类推。



（a）



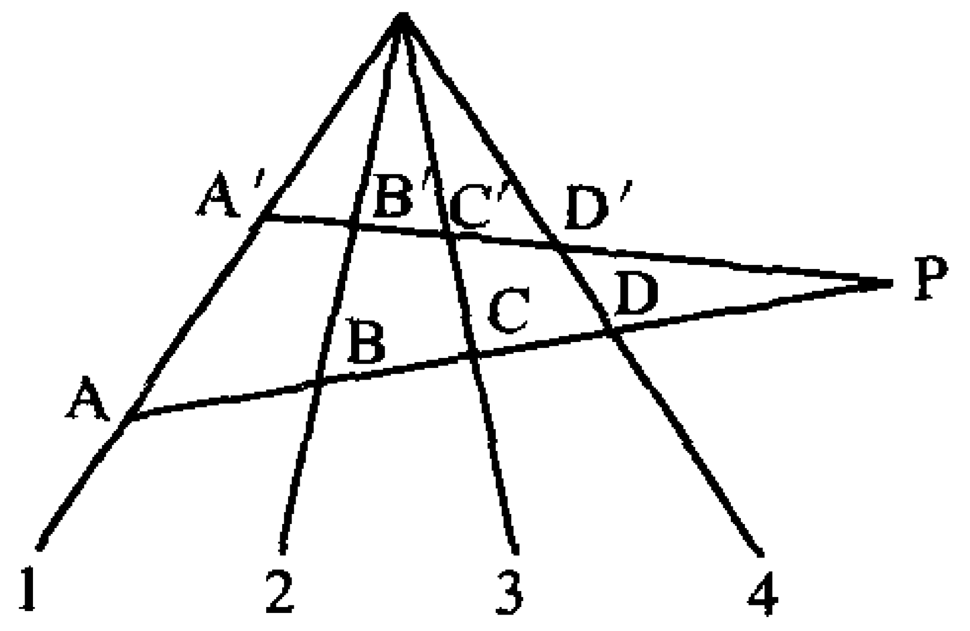
（b）

图 7.1　三角形与球面三角形的切割定理

在上述定理的基础上，可以推断出许多其他对于天文学有极大应用价值的定理，但此处只举出以下例子：球面上的大圆弧 PA 分别切割大圆弧 1，2，3，4 于 A，B，C，D 等 4 点，在 P 固定而 A 点在大圆弧 1 上面移

① 关于曼尼劳斯与他的《论球面》见 Heath 1965，ii，pp. 260 – 273 以及 DSB/Menelaus/Thomas。

动时 sinAD · sinBC/sinDC · sinAB 为常数（图 7.2b），这是平面上直线束为另外一条直线所切割时的所谓非和谐（anharmonic）性质定理（7.2a）之球面推广。



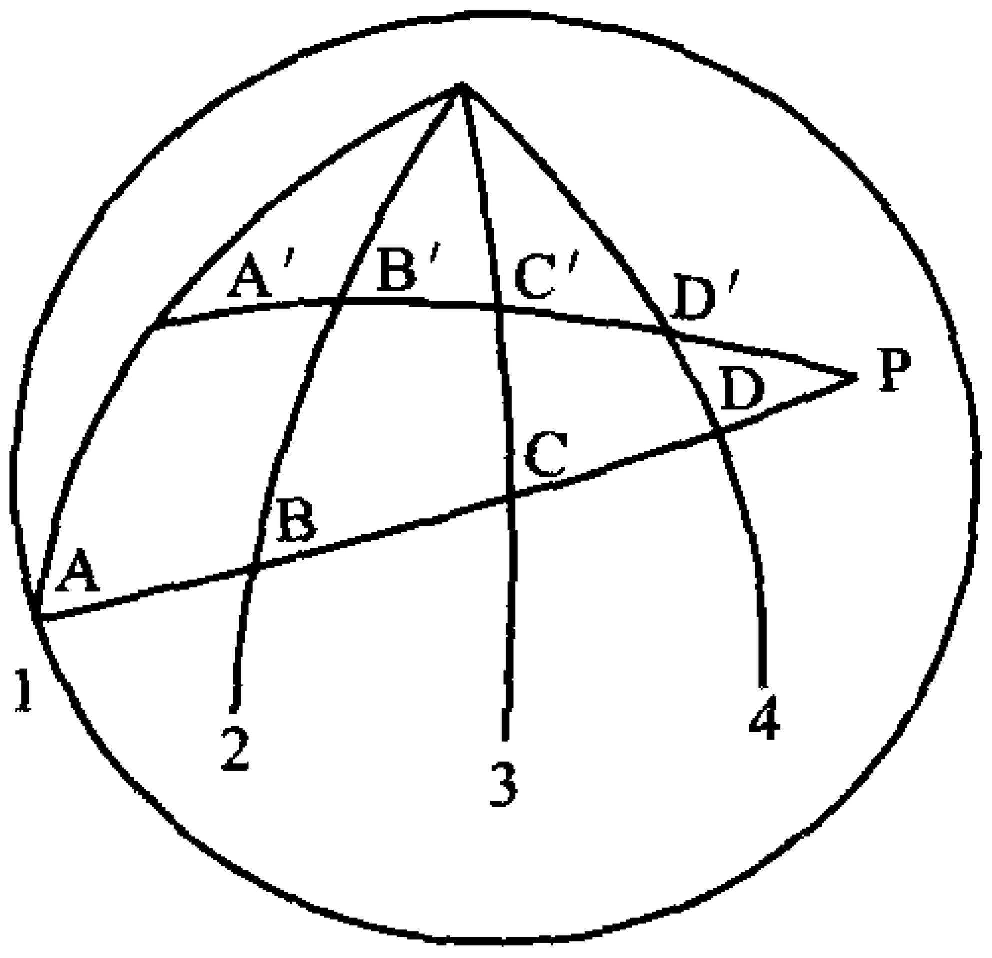


图 7.2　在平面上的线束与球面上的大圆弧束切割定理

曼尼劳斯的球面三角学不但推理严谨，而且构思精妙，可以视为欧几里德平面几何学在球面上的再现。然而两者虽然在方法和理念上相通，但在风格上并不相同，相异之处最少有两点。首先，曼尼劳斯习用直接推理而厌恶归谬法，在整部著作中从未采用后者。其次，他的数学以天文学应用为依归，亦即是注重实用，这是承接奥托吕科斯、喜帕克斯、狄奥多西的传统而来。在这两点上，他都偏离了欧几里德、阿基米德、阿波隆尼亚斯的纯粹几何学传统，而且，他的路向还将通过托勒密而继续发展下去。所以，古希腊数学并非完全不讲究计算与实用：那只是托勒密王朝早期的风尚，到罗马帝国时代就逐渐改变了。

除了曼尼劳斯以外，托勒密还有另一位前驱，即后来被称为“老施安”的施安（Theon of Smyrna，约 70—135）①。他和托勒密大致同时，曾经在亚历山大城作过四个有关水星和金星的观测，而且数据为《大汇编》所引用，又留下一部为入门者特别是有志于柏拉图哲学者所作的数理基础

① 关于施安见 Heath 1965，ii，pp. 238 –244。

介绍，里面阐述“四艺”各学科相通之处。此书数学部分的毕派味道颇重，它虽然无甚创见，然而其中有关天文学的大量征引则留下了非常可贵的历史资料。

二、托勒密与《大汇编》

希腊数学的发展以尤多索斯为枢纽，至欧几里德而初集大成，但其后还有阿基米德和阿波隆尼亚斯继续推进。至于希腊天文学的发展则以喜帕克斯为枢纽，至将近三个世纪之后的托勒密方才得以集大成，但在他之后即无以为继，要一直等到七百多年后的伊斯兰天文学家其传统才得以接续，到十四个世纪后的哥白尼才得以打破他的成规，重新向前推进。从这一点看来，他的《大汇编》名符其实是藏之名山的绝业了。

安稳平淡的一生

托勒密（Claudius Ptolemy，约100—175）与撰写《比较传记》（*Parallel Lives*）的著名希腊史家普卢塔赫（Plutarch，约46—120）大致同时，比撰写《名哲言行录》的第欧根尼（Diogenes Laertius，约3世纪）早一个世纪。然而，这两位传记专家都完全忽略了这么重要的一位科学伟人，并无片言只语提及。托勒密自己的著作中也只非常简短地提到大致同时代的施安，以及一位不见经传的朋友赛勒斯（Syrus），因此我们对他的生平也是一无所知[①]。这说明他在安稳的环境中潜心观测、研究、著述，度过平淡一生，但显然交游不广，生前影响不大，甚至可以说是藉藉无名。

托勒密是公元2世纪的人，这可以从他书中天文观测的年代（约127—141）推知：《大汇编》是一部理论精密，结构严谨，繁征博引的巨著，它成书当在所有观测完成之后，亦即150年左右；而且，书成之后他还需相当时日撰述众多的其他著作，因此一般认为他生活在2世纪最初七十余

① 和喜帕克斯的情况一样，托勒密最详尽和严谨的传记是图默撰写的专文DSB/Ptolemy/Toomer，该文并附有详细参考资料。

年即 100—170 年，但亦有可能再早一些，即在 85—165 年年间。从他罗马化的希腊原名“Claudius”可以推想，他或者是具有罗马公民身份的希腊后裔，至于“Ptolemy”大概指他的出生地，即尼罗河上游的 Ptolemaïs Hermeiu。他的所有天文观测都是在亚历山大城所作，其一生工作很可能也如此，因为其著作大量征引前人工作和成绩，从而保存了大量珍贵科学史料，这显然只有利用学宫图书馆的丰富资源才有可能。另一方面，由于他曾经在 147 年左右于亚历山大以东 24 公里的卡诺普斯（Canopus）树立刻有行星理论模型数据的石碑，也有人认为这安静的小城方才是他安身立命之所。但无论细节如何，我们都可以肯定，他的伟大成就是在安定环境中应用学宫设施，来充分发挥希腊科学大传统的结果。

综汇百家之作

托勒密的毕生巨著原名《数学汇编 13 卷》（*The 13 Books of Mathematical Collections*），以其卷帙浩繁，所以又称《大汇编》（*The Great Collection*），以区别于包括多种初等著作的前述“小天文学汇编”，它传入阿拉伯之后被称为 *al-majisti*，这就是它目前的通称 *Almagest* 之由来。此书已经出版了图默（G. J. Toomer）极其完备的英译注释本，此外奈格包尔在其《古代数学天文学史》中有详细论述，佩德森（Olaf Pedersen）则撰有专书作深入浅出的详细评介，它们大致构成了解托勒密和西方古代天文学的门径①。

《大汇编》共 13 卷，约 40 万字（按英译本计算），包括 20 个表，将近 200 幅图解，基本上是一部专业数理天文学汇编，目标在于阐明天体运行以及各种相关现象如何可以根据它所提出来的理论模型加以测算。为达此目标，它从基本原理出发，作了全面和高度系统性的论述，其中既有大量前人成绩，也不乏他自己的原创性发现；除此之外还包括以下相关内容：（1）在《几何原本》的基础上建立所需数学工具，即球面三角学；

① 分别见 Ptolemy/Toomer 1998；Neugebauer 1975，i，Sect. A－C；Pedersen 1974。有关《大汇编》历代版本源流与翻译，见 Pedersen 1974，Ch. 1。

(2) 天文观测数据，包括历史资料和本人搜集的第一手资料；(3) 由观测所决定的星表；(4) 由计算所得到的大量天体运行数表；(5) 前人(主要是喜帕克斯) 理论工作的报道、分析和评论；甚至亦旁及 (6) 天文仪器的原理和构造。因此它的范围远远超过一部科学专著，而兼有数学教材、仪器描述、观测记录、数据汇编、科学史等多方面性质与功能，实际上相当于一套专业天文学百科全书。

具体而言，《大汇编》可以分为导论、天文观测、日月、恒星、行星等五大部分。现在我们将每部分所包括的卷数和相应内容列于下表说明。

表 7.1 《大汇编》内容综述

部分	卷	内　容
Ⅰ导论	1	(A) 序言：哲学观 (B) 宇宙整体结构 (C) 数学基础：弦表；平面三角学；球面三角学
Ⅱ观测	2	(A) 天文观测、天象与天体坐标 (B) 不同地点的天象
Ⅲ日月	3	(A) 不同年份的比较 (B) "均轮—本轮" 假设 (C) 日运行研究
	4	月运行研究：模型 1
	5*	月运行研究：模型 2，3
	6	日月的冲、合与朔望；日月蚀

部分	卷	内　容
Ⅳ恒星	7	恒星的进动；星表：星座 1—27
	8	星表：星座 28—48
Ⅴ行星	9	(A) 行星通论与平均运行数表 (B) 一般行星运行模型 (C) 水星运行研究
	10	(A) 金星运行研究 (B) 火星运行研究
	11	(A) 木星运行研究 (B) 土星运行研究
	12	(A) 行星的逆行、留驻 (B) 内行星日距角研究
	13	行星纬度变化及偕日升落研究

* 此卷第一章是有关天文仪器的讨论；至于有关前人工作的叙述、评论则散见全书。

就创始和发明而言，尤多索斯可能是几何学最重要人物，但就其整理、发扬、传播而言，则毫无疑问以欧几里德为首；同样，就天文学的创新和发现而言，大概应当首推喜帕克斯，但说到综汇百家，建立完整体系，那就显然是托勒密的功劳。从这个观点看来，尤多索斯和喜帕克斯的著作之失佚固然令人扼腕，但《几何原本》与《大汇编》之得以广为流播，传之久远，却绝非偶然，而是由这两部巨著的性质和结构所决定的。

哲学观与宇宙结构

《大汇编》的“导论”占一卷，但内容丰富，包含序言、宇宙观和数学基础等三部分，可以视为全书的理论基础。至于关乎天象观测与天文坐标的“观测”部分也占一卷，它似乎是全书的实证基础，但其真正的目的可能在于为托勒密日后的地理学与星占学著作作准备。

托勒密在“序言”中提出了他的哲学观和宇宙观，这在希腊科学著作中绝无仅有，对于了解古代科学思想应该大有帮助，不过，他基本上只是跟随亚里士多德而并无多少新意。从中可以得知，他将知识划分为实际与理论两类，后者再划分为形而上学、数学和物理学三项。但天文学既有赖于观感知识（这是物理学特点），亦具有恒久不变性质（这是数学特点），因此介乎物理与数学之间，但由于它可以严格推算，他宁将之归于数学，这有异于柏拉图和亚里士多德，而更接近毕达哥拉斯。在此可以加一句题外话：认识到地上的物理学现象也同样服从恒久不变规律，是千载之后伽利略才作出的科学观念基本突破。托勒密又指出，天文学的研习令人游心于清晰无误与永恒不变的事物，因此对神圣探究亦即神学有帮助。所以，亚历山大科学观念中仍然遗留毕达哥拉斯学派思想痕迹，亦即宇宙探索背后宗教仍然在起作用。

他的宇宙观也同样“正统”：地是球形，居宇宙当中而静止不动，它相对于宇宙极其微小，只如一点；“诸天”（“heavens”，这泛指日月星辰所镶嵌其上的各个“天”）亦是球形，它有两个主要运动：每日的旋转，以及日月行星的周年回转，等等。对以上各点他都胪列证据，并且驳斥了不同观点，包括赫谢塔和厄番图所提出来的，诸天并不移动，其表观上的每日旋转其实是由地球自转所形成的说法。他的根据是人所熟知的落体或者抛物体无论高低都不能显示地球表面在移动，等等，就不必赘述了。

基础数学：三角学与函数方法

卷一的第三部分发展了天文学所需用的基础数学，这又分为三部分。第一部分是跟随喜帕克斯先例（§5.6）编算精密“弦表”（chord table）。

为此他首先需要引导出相当于 sin（x ± y） 和 sin(x/2) 的公式，以及倘若 sinx > siny，则 sinx/x < siny/y 的不等式，以作为渐近逼近的手段；然后从特殊角度（例如36°，60°，72°，90°等等）的已知弦长出发，计算任意角度的弦长 Crd(2x)，从而编列一个“弦表”，它相当于 x 在 0°至 90°之间，每隔 0.25°亦即 15′的正弦数表（sine table)。表中数值准确至六十进制的第三位，亦即误差为 5×10^{-6}左右，这相当于十进制的五位数表；此外，每个弦值后面还附有相邻弦值的差值之 1/60，以令可以用内插法将角度变化的步距减低到 1/2′即 30″。这个弦表非常精确，它和现代正弦表的差别只不过是以弦长为基本函数，以及在记数上采用六十进制而已。

其次，是发展三角学。古希腊数学没有代表数量和数式的符号，而完全依赖几何推理方法，因此托勒密的平面“三角学”在弦长以外并没有诸如余弦（cosine)、正切（tangent)、正割（secant）等其他三角函数观念。它实际上只是以上述弦表为根据的一套有关三角形的几何推理和计算方法。例如，从三角形的一角两边或者两角一边求其他的边角，等等。除此之外，他所证明和直接应用的定理并不多，这包括（1）相当于现代三角学中的正弦定理和余弦定理；（2）平面曼尼劳斯定理；以及（3）球面曼尼劳斯定理（见上节），这成为第三部分即球面三角学的基础，它被直接用以解决天文学上所碰到的大量球面三角形问题。他这做法简化了全书数学结构，缺点则是必须不断重复许多步骤相同的推理和计算过程。他没有发展出更繁复但也方便得多的数学体系，恐怕是由于当时这种观念还没有出现之故吧。

不过，即使是如此，托勒密所要解决的天文学计算之复杂，在实际上仍然迫使他逐渐偏离古典几何学传统，而向更为接近现代数学结构的方向发展，其中最重要的就是函数（function）观念之形成。虽然他从来没有谈论过这样的观念，更没有应用相关符号，但他根据数学模型精确计算（而不仅仅是像尤多索斯那样描述或者论证）天体运行的时候，其位置（即经度和纬度）作为时间函数的观念是不可避免的。实际上，在详细讨论计算方法之后，托勒密会将计算某个天文量（例如水星的经度）之时间变化的程序加以总括，这略约相当于计算机程序的表述；然后再将一系列计算结果与相关变量（例如时间）表列出来，这相当于计算结果的打

印。上述“程序”与“数表”和函数的解析形式（analytical form）不一样，但同样是函数表达形式之一。他所计算和表列出来的，还有系于多至两三个变量的结果，亦即是多变量函数（multi-variable function）。

除此之外，他还需要面对其他解析学和数值计算上的问题。例如：求轨道远日点（aphelion）和近日点（perihelion）相当于求日距函数的极端值（extrema）；求天体运行速度相当于求其位置函数的导数（derivative），等等；要能够充分和准确地应用数表还须有内插法（interpolation），包括单变量函数的线性内插程序，以及为双变量函数设计的更复杂内插程序。这些问题托勒密都一一加以解决，虽然其步骤不一定系统化，但无疑导数、极端值、内插、函数连续性等观念，也已经通过实际计算和应用而发展出来了。

由于其中心题材的实际需要，《大汇编》只是以《几何原本》为起点，它的数学发展却完全以实用为目的，因此不折不扣是计算型的，其论述也就脱离“假设/公理—命题—证明”的形式，而采取更弹性的行文和论证方式。可惜它并没有沿着实际上已经发展出来的函数、计算和解析学等方向而建立更正式和理论性的数学体系。这当是因为以符号表达方程式这种强有力的工具尚未出现吧。

天文观测与天象

《大汇编》第二卷是球面三角学在天文学上的应用，例如计算日夜长短、日在天空所循轨迹即黄道、星辰出没和升降等天象之计算，以及用以描述这些天象的坐标，包括（1）以黄道面为参照的黄经（ecliptic longitude）、黄纬（ecliptic latitude）；（2）以赤道面（即垂直于天球旋转轴之平面）为参照的赤经（right ascension）、赤纬（declination）；以及（3）大地坐标，即以地平面为参照的仰角（elevation）和方位角，等等。除此之外它还有更实际和具体层面，这表现于它对于在三十多个不同纬度地点的日长和日影长度描述，以及列出了在多个不同经纬度地点的十二星座出没时间与在不同时间的位置详表。这些细致工作和理论天文学其实并没有直接关系：它们的真正目的很可能是为托勒密另外两部大书即《地理学》（*Geography*）以

及星占学专著《四部书》(*Tetrabiblos*) 作准备。

三、天体运行理论

除了阿基米德的静力学以外，天文学是古希腊唯一能够将数学应用于自然现象的科学。当然，从今日看来，这结合还是表面而非深层的，即它是属于“运动学”(kinematics) 层次的“描述”(description) 而非“动力学”(dynamics) 层次的“解释”，亦即将现象化约 (reduction) 为原理、定律，然后从后者推断前者。当然，希腊天文学的“描述”背后也有原理——虽然它是个数学原理，即最早由柏拉图提出来的，天体运动必然由均匀圆周运动所组成之说 (见 §4.5)，它后来成为“本轮—均轮”(epicycle and deferent) 模型的根据①。在《大汇编》中，这模型其初相当简单，而效果也不错，但其后托勒密为了追求精密，模型就变得越来越复杂，所谓原理也就逐渐失去确切意义——这可以说是整个“本轮—均轮”观念的局限。不过，我们不应该忘记，这是人类以量化方式了解自然界动态现象的最早尝试，而它是非常成功的，由是激起了无数后来者的好奇与雄心，最后令他们得以超越原来观念局限，攀升到更高层面上去。

跨越千年万里

在讨论托勒密天文系统之前，有一点需要强调，即他绝非以描述个人数十年间所能够观测天文现象为满足，而是极其认真地看待天文现象的“恒久性”，因此必须以同一系统和同一套参数来描述、解释历史上所有观测数据。但这是极端困难的，因为从《大汇编》的征引我们知道他搜罗和运用了大量古巴比伦、古希腊、喜帕克斯和“当代”天文数据，其时间跨度将近千年之久 (公元前 747—公元 141)，观测地点分布也将近

---

① 其实许多现代物理学基本原理最后也蜕变为与时空有关的数学原理，例如多种守恒定律表现为物理理论在某种数学变换 (时空中的平移、空间中的旋转、时空方向之逆转，等等) 之下的不变性 (invariance)。

“万里”之遥（巴比伦与亚历山大城的直线距离约一千公里，合希腊古里五六千斯塔德），而散布于此广袤时空中的大量数据，必须充分与观测时地两方面因素结合起来才会有意义。所以要统一运用和比较这些来源各异的数据，就必须先对它们作非常细致的技术性处理，这和“收拾房间”（house keeping）一样，是繁复而绝对无法减省的工作。

这工作有两方面。首先，是建立标准时间尺度和坐标，然后把历代资料所记载的观测时间嵌入这系统。托勒密的标准尺度有四个层次：年、月、日、时。《大汇编》采用了埃及极其简明和永远固定的历法（而不是希腊月历或者恺撒大帝在公元前颁布的儒略历即 Julian Calendar）作为年和月的标准，这实际上等于数日子的办法而已。日的长短由地球自转周期决定，所以是固定的，《大汇编》将 1 日分为均等 24 小时的所谓“均分时”（equinoctial hour），而非当时民间习惯的将日夜各均分为 12 小时的不固定“季节时”（seasonal hour）；然后每小时再分为均等的 60 分，这系统以后成为天文学的标准计时方法。此外，他更以五位君主的元年作为前后相续五个时期（epoch）的“纪元”①，以将过去将近千年的全部时间联系起来。其次，天文观测原始数据往往以大地坐标、赤道坐标或者星辰出没时间、位置为参照，但这些都不是固定的坐标系统，而是和观测者的时地有关系的，要把不同数据互相比较，就需要把它们都放置在一个固定坐标系统之中，这就是所谓黄道或者天球（celestial）坐标系统。它是以黄道面和春分点（vernal equinox）为参照，在其中天空每一点的位置都以黄经和黄纬为坐标，在此系统中恒星的坐标基本上固定不变。如何应用球面三角学将任何其他坐标转变为天球坐标，或者在不同坐标系统之间转换，是《大汇编》在第一至第三卷所详细解释，和在以后各卷所需要不断进行的工作。为此他编算了大量数表以作为辅助工具。

以下我们粗略翻译《大汇编》论月球运动的第五卷中征引历史观测

---

① 这五位君主及其纪元是：巴比伦的那波纳沙尔（Nabonassar），公元前 747；马其顿的腓力（Philippus），公元前 324；罗马帝国的奥古斯都（Augustus），公元前 30；哈德良（Hadrian），公元 116；以及安东尼（Antoninus），公元 137。

记录的一小段，以作为书中所不断需要处理的问题之说明[①]（在以下译文中，原作者的说明以括号（）表示；英译者的说明以方括号［］表示；本书作者的说明以加重方括号【】表示）：

> 喜帕克斯记载，他在亚历山大死后 197 年 Pharmouthi 月［8 月］11 日［公元前 126 年 5 月 2 日］2 时初用自己的仪器于罗德斯岛观测日和月。他说：日见于金牛座 $7\frac{3}{4}°$ 的时候月球中心的表观位置是双鱼座 $21\frac{2}{3}°$，其真正【相当于地心的】位置为双鱼座（21 + 1/3 + 1/8）°［即 21°27.5′］。因此其时真月在真日之后 313°42′。这观测是在 2 时之初，大约为 11 日中午之前的五个"季节时"（那在罗德斯岛当日相当于 $5\frac{2}{3}°$ 平均时），因此从我们的时期至观测时刻相隔 620 埃及年[②] 219 日 $18\frac{1}{3}°$ 平均时，此为以简易计算所得；或者 18 平均时，此为以精确计算所得。
>
> 在此时刻平均日【指日模型中的本轮中心位置】在金牛座 6°41′；
> 真日【指日球本身】在金牛座 7°45′；
> 平均月【指月模型中的本轮中心位置】在双鱼座经度 22°13′；
> ……
> 因此平均月与真日的距离为 314°28′。

在上面只要注意到金牛座是第二星座，双鱼座是第十二星座，两者在黄经上相差 10×30 = 300°，那么"真月—真日"和"平均月—真日"这两个距离都是很容易复核的。问题在于平均月位置的计算，那需要首先确定观测时间，这将

---

① Ptolemy 1998，p. 227（= *Almagest* H369）.

② 此处 Toomer 的译本有校对或者排印上的错误："620 埃及年"显然是"260 埃及年"之误，因为从喜帕克斯至托勒密的时代不可能有 600 多年，260 年方才合理。

月模型作跨越数百年的准确计算，这才可以得到最后结果。当然这个例子完全没有涉及球面三角学，所以可以算是最简单的“收拾房间”工作了。

本轮模型

整部《大汇编》充满了诸如上述的“收拾房间”工作和其他观测与计算细节，当然，除此之外也还有大量历代累积的天文观念与数据。但我们已经再三提到了，它最终赖以把这一切贯穿、联系起来的，是所谓“本轮—均轮”模型（以下简称本轮系统或者模型）：除了均匀旋转的恒星天球以外，所有其他天体，包括日月和五大行星的运动，都是用此模型来理解和测算的。这模型的基本观念非常简单：在最粗略的层面，如天文观测所显示的那样，每一天体 S 大致上都是均匀地循圆形轨道围绕固定于圆心的地球 T 运行，它的运行只决定于可以准确观测的运行周期 T_0，而 T_0 和运行角速度 ω_0 的关系是 $\omega_0 = 360°/T_0$。至于轨道半径 R，原则上自然也可以（例如像阿里斯它喀斯那样）测定，但这并不重要，因为模型所需要计算的，只是天体的角度位置而已。由于运转是均匀的，所以知道 ω_0，天体在时刻 t 相对于参照点 V 的角度 $\lambda(t)$（在黄道坐标系统中这就是它的黄经）就可以简单推算出来：

$$\lambda(t) = \lambda(t_0) + \omega_0(t - t_0) \qquad (1)$$

其中 $\lambda(t_0)$ 是天体在起始时间 t_0 的位置（图 7.3）。

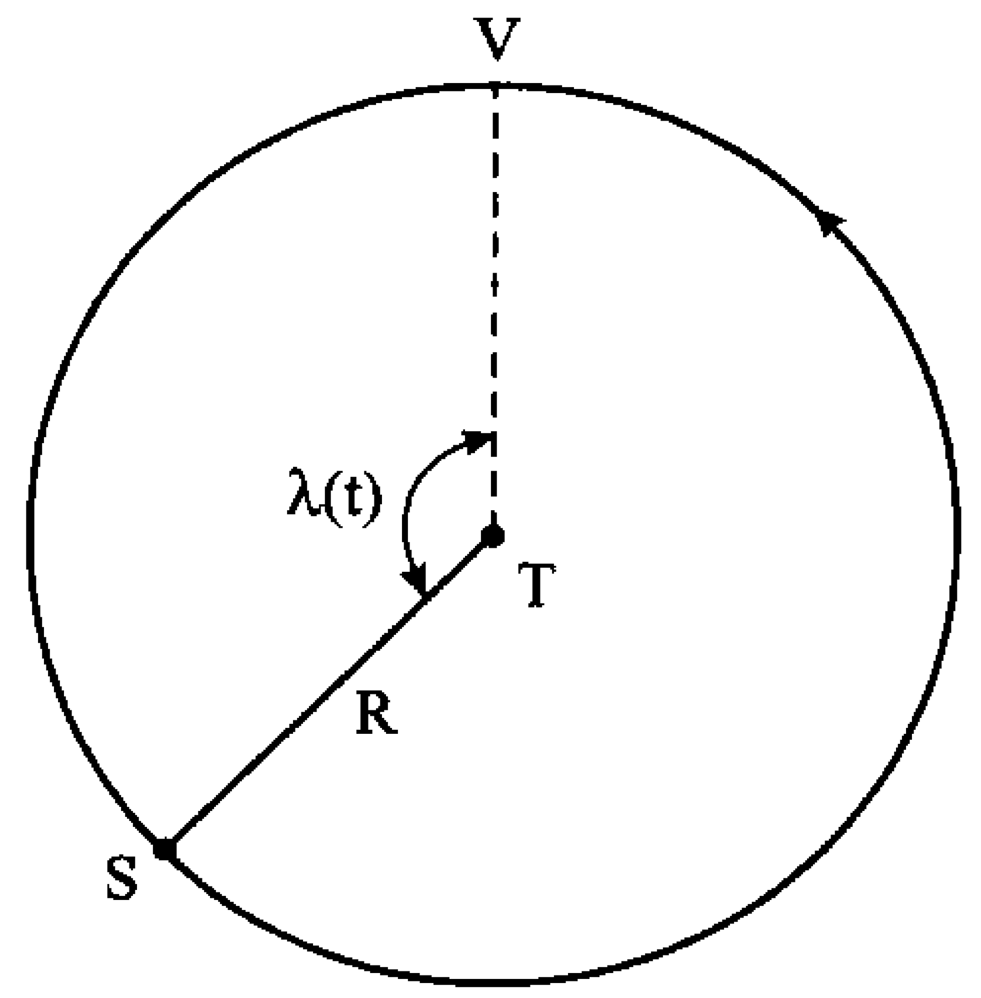


图 7.3　天体均匀运行之 0 级模型

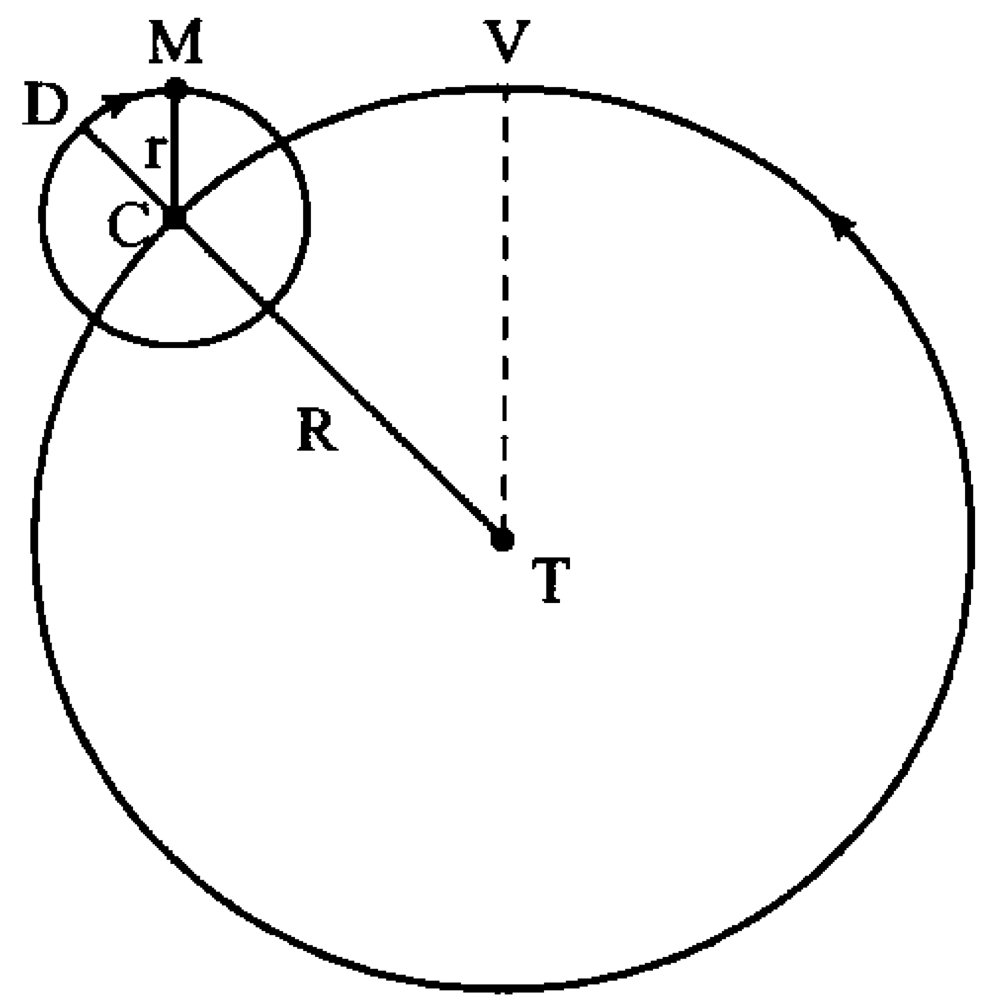


图 7.4　天体运行之 1 级“本轮模型”

但从长期观察可以知道，天体的运行并不完全均匀，因为它的角速度有细微的周期性变化。所谓本轮模型（epicyclic model）就是为了解释和计算这些变化而提出来的。它大概是由阿波隆尼亚斯或者更早的赫拉克里德斯发明，但他们是否曾经以此模型作详细计算则有疑问。这模型的核心观念是在上述主要圆形轨道即“主轮”（deferent，亦称“均轮”）之上再增加一个细小的圆形轨道，即所谓“本轮”（epicycle）：本轮的圆心 C 均匀地循主轮中心 T 旋转——它代表天体的“平均运动”，所以又称为“平均日”（average sun）、“平均月”等；天体本身 M（即所谓“真日”、“真月”等）则以不同的角速度 ω_1 围绕本轮的中心 C 旋转。在此必须注意的一个细节是：与 ω_1 相关的角度是以（不断移动中的）TC 延长线即 TD 为基线，而并非以固定方向为基线的（图 7.4）。这样天体的实际运动是由主轮和本轮两个圆周运动组合而成，它可以视为在主轮运动之上增加一个“微扰”（perturbation）。用物理语言来说，就是将主轮的“0 级模型”作了个“1 级修正”（first-order correction）。这最基本的“本轮模型”带来了几个基本改变：首先，在主周期 T_0 以外增加了一个本轮周期 T_1，以及相应的角速度 ω_1，这基本上是由实际观测决定；其次，本轮半径 r 是个参数（parameter），它可以根据模型的需要来调整，以使计算结果与实测数据吻合。由于主轮半径 R 没有决定，所以这参数表现为 r/R 的比值，它一般小于 10%。第三，主轮与本轮的旋转方向可以相同或者相反，视乎需要而定。最后，在这模型中决定天体位置 λ(t) 的方程式要比以上的（1）式稍为复杂一点，这留待下面讨论。

日的运行

托勒密的日运行研究基本上是沿袭喜帕克斯的工作，但作了系统探讨，并且在征引大量历史观测数据以外，又加上自己的观测数据以为证实。在《大汇编》第三卷第一章，他仔细比较了 15 个对于春分、秋分和夏至点的观测，最后证实喜帕克斯所决定的回归年（即日先后两次在春分点的时间差）T = 365 日 5 小时 55 分 12 秒（在他所用的六十进制中这是 365；14，48 日），这比现代值长大约 6 分钟，误差为 10^{-5}，因此

“平均日”的角速度是 $\omega = 360°/T \approx 59'8.287''$/日，由此它的运动就可以完全决定。不过，托勒密没有符号算式可用，而且逐次计算也很费事，所以他将黄纬根据上列（1）式按每时、每日、每月、每年、每 18 年（这是埃及年而非回归年，所以不会重复）分别列了五个极为精确（实际上超过需要）的“日平均运动数表”①，这就完成了日的“0 级模型”。

但日的运行并非完全均匀，而是有变化的，这托勒密称为“异常”(anomaly)，它表现于四季的长短不等：例如春分到夏至，以及夏至到秋分这两个季节分别为 94.5 日和 92.5 日；另一方面，这季节长度差别却是每年固定的。这说明“0 级模型”还需要加上“1 级修正”，在其中本轮的周期和主轮一样，但两者的半径比 r/R 则需要由季节差来决定。不过，为此托勒密没有用本轮模型，而是跟随喜帕克斯用了更简单的所谓“偏心模型”（The Eccentric Model）。其实，倘若只有一个周期的话，那么本轮模型和偏心模型是等价的，而且在讨论月球和行星运动的时候，偏心模型还可以和本轮模型结合，成为更复杂、精巧、有弹性的机制，因此他借此机会把它提出来。

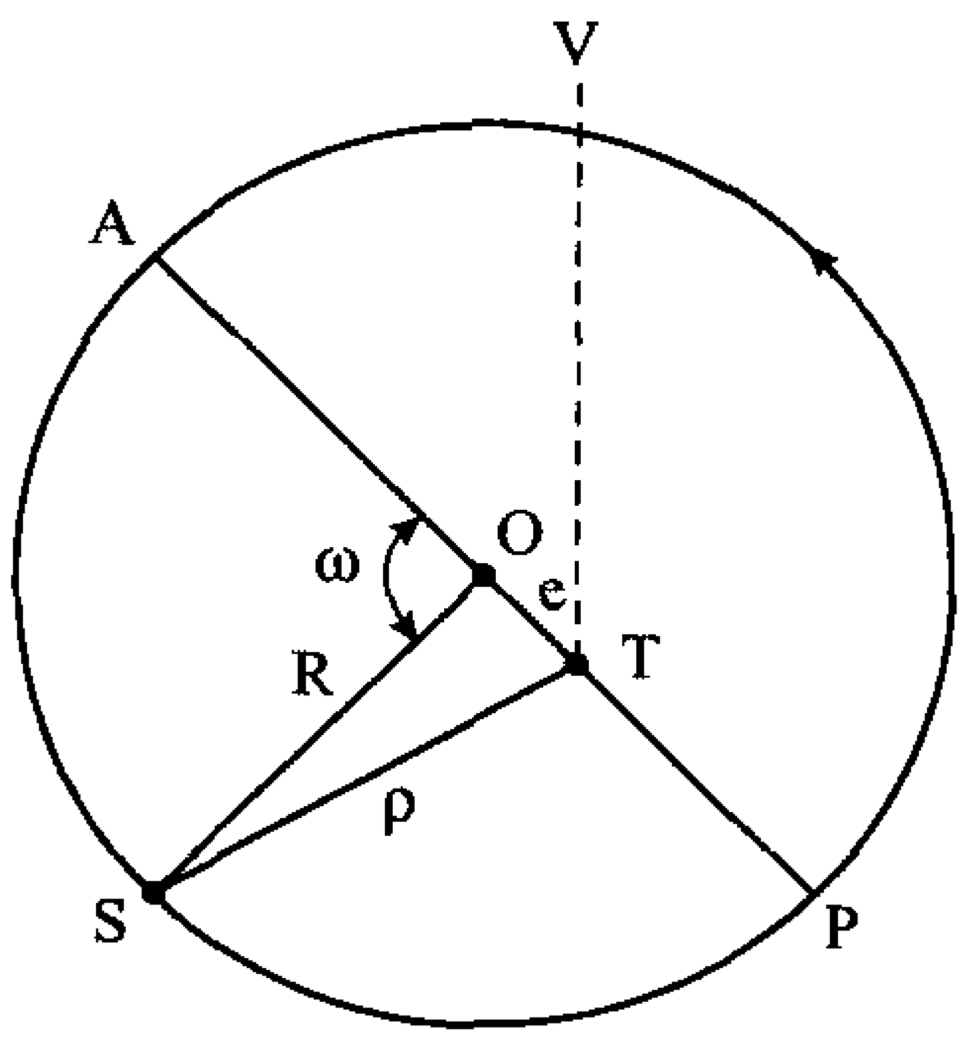


图 7.5　日运行之“偏心模型”，$\lambda(t) = \angle VTS$

在偏心模型中日 S 仍然以固定角速度 ω（即其“平均角速度”）循圆

① Ptolemy 1998, pp. 142 - 143（= *Almagest* H210 - 215）.

形轨道围绕圆心 O 运行，但地球并不处于 O，而是在偏离 O 的固定点 T，OT 称为偏心度（eccentricity）e（图 7.5）。从 T 点看来，日的距离 ρ 和角速度 ψ（这是黄经的变化速度，而黄经仍然是地球所见，日与春分点的夹角，即 $\lambda(t) = \angle VTS$）就都不再固定，而是有变化的了：显然，TO 和圆的交点 A 是“远地点”（Apogee），在此点 $\rho = TA = R + e$ 为极大，而角速度 ψ 为极小；反方向的交点 P 是“近地点”（Perigee），在此点 $\rho = TP = R - e$ 为极小，而角速度 ψ 为极大。偏心模型只有一个可以调整的参数，即偏心度 e。通过初等几何学，那可以很容易地根据上述季节差来决定，至于远地点 A 和春分点 V 在 T 的夹角 λ_a 即 $\angle VTA$ 也可以连带决定，结果是 $e/R = 1/24$ 以及 $\lambda_a \approx 65.5°$。参数决定之后模型即告确定，不但余下两个季节的长度可以准确推算（即秋分至冬至为 88.12 日，冬至至春分为 90.12 日），而且“真日”在任何时刻偏离于“平均日”的角度，亦即其“异常”或者所谓“距角”（equation）δ 也可以计算和列表[①]。将距角表和平均运动表结合起来，就能够计算日在任何时刻的准确位置。

在所有天体运动中，日是最基本同时也最简单的，这我们现在知道，主要是因为地球椭圆轨道的偏心率（0.01）极小，所以以地球为中心的日相对运动非常接近均匀圆周运动，同时日本身就界定了黄道面，不像月或者其他行星的轨道面还有与黄道面的倾角之故。

月的运行

月运动虽然的确如托勒密所构想，是以地球为中心，但是它比日运动远为复杂，这主要因为它绕地轨道的偏心率颇高（0.055），所以和均匀圆周运动的差别相当显著，而且它的轨道面（即白道面）与黄道面有5°9′的夹角，它又接近地球，因此视差不能够忽略，这些都对建立月运行模型构成额外困难。《大汇编》用了第四和第五两卷来讨论月球运动：它首先以上述本轮系统作为月运行的初始模型，然后又相继作了两个修正，以使它更切合月在其轨道上每一部分的运行。我们在此无法讨论其中细节，只

---

① 这一计算只牵涉极为简单的初等几何学，细节见 Pedersen 1974，pp. 145－149。

能把主要脉络作个简略介绍。

月运行的复杂性首先反映于它不像日运动基本上只有一个周期①，而月却有五个之多不同周期，即恒星月（sidereal month）、朔望月（synodic month）、异动月（anomalistic month）、回归月（tropical month）和“龙月”（draconitic month），它们分别指月在星空位置、月相（即其圆缺）、月运行速度、月的黄经，以及月的黄纬这五者的周期。不过，除了恒星月以外，它们彼此的差别其实很细微。托勒密征引古巴比伦和喜帕克斯的观测资料，列出了这些周期极其精确的数值，从而分别算出相关变化率，然后把它们的时间变化列出详细数表以为计算之用。这其中最值得注意的是朔望月周期，它的数值 $T_s = 29$ 日 12 时 44 分 3.3 秒和现代值相差不到 1 秒②。

托勒密第一个月运行模型就是本轮模型（图 7.4），在其中地球 T 是主轮的固定中心，“平均月” C 在主轮上作均匀圆周运动，参照方向则是日平均方向，转速 ω_t 由回归月 T_t 决定：$\omega_t = 360°/T_t \sim 13°10'35''$/日。至于本轮则以平均月 C 为中心，以参数 r 为半径，月球本身即所谓“真月” M 在本轮上以角速度 ω_a 作反向均匀圆周运动，但参照方向是 TD。这样主轮产生了月的平均运动，本轮产生了它的异常运动，即速度变化，所以转速由异动月 T_a 决定：$\omega_a = 360°/T_a \sim 13°3'54''$/日，主轮与本轮的转动方向相反，而且转速也不相同。

但直接应用本轮模型有两个问题：其一是月轨道（即白道）和黄道之间有 5°9′的微小倾角，其二是白道和黄道的交点并非固定，而是以缓慢速度在黄道上转动。托勒密解决的办法是假定这两个微小效应都可以忽略，也就是说，径直将模型的本轮和主轮都放置于黄道面上，并且假设主轮有固定起点。事实证明，这是可以成立的——换而言之，月的主要运动即黄经变化，可以与它微小的黄纬变化分开处理。不过，就具体细节而言，日和月模型仍

---

① 其实在前述回归年以外还有所谓“恒星年”，但它与回归年的差别极小，所以不影响日运动的讨论。见下面有关恒星“进动”的讨论。

② 托勒密宣称他所用的是喜帕克斯的周期，但根据后人考证，他仍然是跟随古巴比伦数据，虽然两者的差别非常细微。见 Pedersen 1974，pp. 161 - 164。

然有重大分别。首先，日运行只有一个周期，所以日在黄道上的最大和最小速度点是固定的，但月运动有两个周期，因此它在白道上的最大和最小速度点却并非固定，而是以微小的角速度 $\omega_t - \omega_a \approx 6'41''$/日亦即 8.84 年的周期移动。其次，黄道上有为人熟知的定点（即春秋分、冬夏至）可用作计算模型中半径比 r/R 的依据，但白道上没有这样的定点，而且由于视差问题，直接观测月的准确位置也不可行。喜帕克斯的解决方法是利用古代巴比伦三个月蚀记录来确定在某些绝对时刻的月中心位置（从而消除了视察 parallax 所产生的干扰），然后求得 $r/R \approx 0.0875$；托勒密则以自己所作的三个月蚀观测所得数据计算同一参数，所得结果与喜帕克斯的相差只有 0.3%，所以证明此结果是可靠的。从三个任意点来决定一个圆（即本轮）的半径是古代天文学经常出现的问题，它首次由托勒密提出了巧妙解决程序，这在参考文献中有详细讨论，我们在此不赘述①。

半径比 r/R 决定之后，本轮模型即告基本完成。如图 7.6 所示，月在任何时刻的黄经 λ(t)都可以根据下列方程式组求得：

$$\lambda(t) = \lambda_m(t) + \delta(a); \quad \lambda_m(t) = \lambda_m(t_0) + \omega_t(t - t_0); \quad a(t) = a(t_0) + \omega_a(t - t_0) \qquad (2)$$

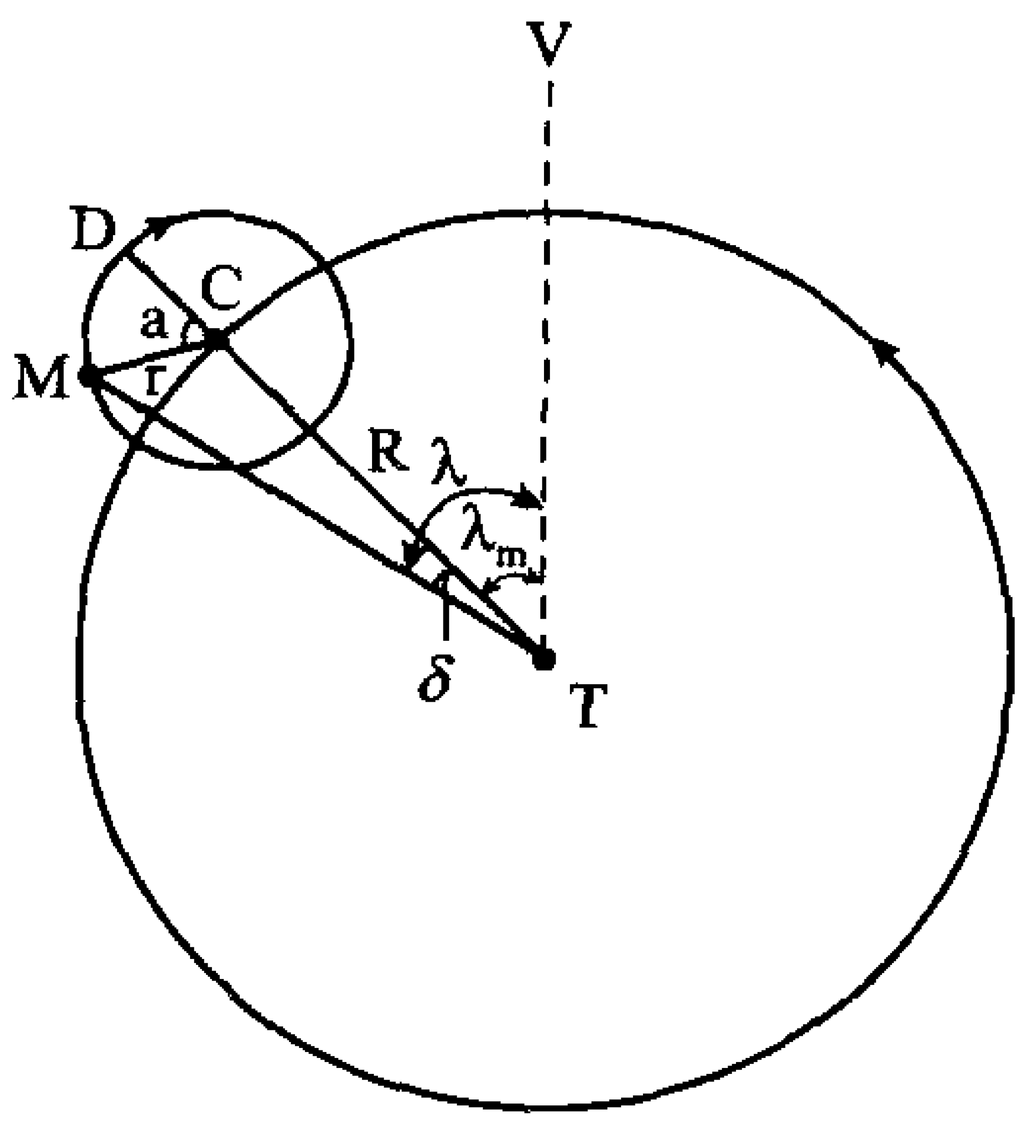


图 7.6　月运行的基本模型

① 细节见 Pedersen 1974，pp. 171 - 179。

在其中 $\lambda_m(t)$ 是月的“平均黄经”（mean longitude），亦即本轮中心 C 的位置；ω_t 是回归角速度；t_0 是起始时间；a(t) 是月的“异动量”亦即月在本轮上所运转经过的角度；ω_a 是这角度增加的速率即“异动角速度”。距角 δ 则是地球所见“真月”与“平均月”方向之间的差角，从图 7.6 可见，δ 可以从解已知两边为 r 及 R，两边夹角为 $\pi - a(t)$ 的三角形 TCM 求得，所以是 a(t) 的函数。托勒密在第四卷之末将 δ 和 a 的关系列出详细数表。这样，月在任何时刻的黄经计算就化简成为查表和算术问题了。跟着，托勒密还把它用以复核喜帕克斯在月蚀研究上的计算，指出了他（其实相当微小）的误算，从而证明本轮模型可以精确测算过去 900 年间月在朔望点的位置，因此他很有信心地将起始时间 t_0 定为那波纳沙尔（Nabonassar）元年，即公元前 747 年，并且计算了相应的黄经起始值 $\lambda_m(t_0)$ 和异常量起始值 $a(t_0)$①。

不过，如《大汇编》第五卷开头所说，上述模型所能够描述的现象只限于月的朔望位置，即是月和日的黄经相同或者相差 180°的位置，而喜帕克斯已经知道，托勒密本人更曾经用混天仪（但他称之为星盘 astrolabon）证实，本轮模型不可能解释月在其他位置的运行。例如，月在上下弦位置（所谓 quadrature）时，即月的黄经与日相差 90°时，其距角 δ 达到 7.67°，但从图 7.6 可见，在上述模型中距角 δ 最多只能够达到 $\sin^{-1}(r/R) \approx 5.02°$。为了克服此类的困难，托勒密被迫对本轮模型作出两项修订，而提出所谓“修正曲轴本轮模型”，它不但在上下弦位置，即使在“八分”（octant）位置，即月黄经与日相差 45°或者 135°时，也能够准确计算距角，这样月运行位置的长期预测，一般可以准确到 1.4°以下（细节见本章附录）。然而，这修正模型虽然相当准确，却违背了希腊天文学的基本原则，因为在其中本轮中心 C 的轨迹不再是圆圈，而是一条缓慢转动的腰形曲线，因此最终结果再也不能说是圆形运动的组合了。对这个问题托勒密保持缄默，不加讨论，但到了中世纪则成为伊斯兰天文学家怀疑和修

① 托勒密的初始月模型在《大汇编》第四卷讨论，相关问题在 Pedersen 1974, pp. 169 - 184 有详细解释。

订《大汇编》体系的起点——他们显示，通过在本轮上再加本轮，“圆运动组合”原则是可以维持的，而这一观念和做法后来也为哥白尼所接受。

其他日月问题之解决

月在黄道面的复杂运动问题之解决，连带导致了三个相关问题之依次解决。首先，是它的纬度（即黄纬，亦称天球纬度）可以直接从黄经来推算，因为它本身的轨道面（即白道面）和黄道面之间倾角很小，所以复杂的球面三角关系简化为投影关系。其次，既然月球中心相对于地球中心的黄经、黄纬可以准确推算，而又可以在地面上直接观测月的位置，那么从两者差值就可以推算分别从地心和地表观看月球的视差，而且，从视差值又可以推断月的距离。托勒密所得结果是月平均距离等于地球半径59倍，这和现代值60非常接近而胜于喜帕克斯，但在日距离的估计上他仍然没有任何改进。

最后，在充分掌握日和月的运动规律，并且对于月的视差以及表观半径之变化有了深刻了解之后，托勒密就可以提出相当仔细的日月蚀理论。在原则上，日月蚀的基本条件只不过是在地球中心的日月距角为0°或者180°。但这只是必要条件而已，日月蚀的实际发生还需要月在朔望位置的时候其黄纬度满足一些条件——基本上是不能超过某些临界值，而这些条件也和日月距离有关；此外，自然还有全蚀和偏蚀、可见日蚀的地点、日月蚀的周期等问题。这些托勒密都有详细讨论，并且如一贯的那样，编制了数表以为计算、预测之助。由是，他可以算是在很大程度上把这些古代世界认为神秘和重大的问题彻底解决了①。

四、恒星的研究

《大汇编》七、八两卷是关于恒星的：卷七1—3章讨论恒星的进动

---

① 有关视差和日月大小、距离的研究见《大汇编》卷五的11－19章；日月蚀的讨论在卷六。相关讨论见 Pedersen 1974，pp. 199－235。

(precession) 现象；其余部分则列出了一个详细的星表。

进动的研究

所谓进动是指恒星的黄经有极其缓慢的改变，这是喜帕克斯所首先发现，在第五章已经讨论过。对此托勒密有两点重要贡献。首先，他证明恒星的进动不如喜帕克斯所认为的那样，仅限于黄道带（the zodiac）以内的恒星，而是涉及所有恒星，从而强调全部恒星是固定地镶嵌在同一个"恒星球面"上的观念。其次，通过对18颗恒星古今位置的比较研究，他发现它们的赤纬（declination）有各不相同的变动，视乎其在天球上的位置而定；但黄纬完全没有变动，而黄经则全部都有相同的缓慢增加。这样他就证明了恒星的进动是个整体现象，进动轴就是黄道轴，进动率最少达到1°/世纪，这比现代值（1°24′/世纪）小40%。当然，我们现在知道，恒星整体其实并不移动，"进动"现象是由地球旋转轴摆动引致春分点移动所产生。

进动是非常缓慢的，推断它的速率需要比较同一恒星在很长时间的黄经变化，也就是说必须先要能够准确测定它的绝对黄经值。但这怎样能够做到呢？首先，除了自己的观测数据以外，托勒密掌握了喜帕克斯以及托勒密王朝初期的观测资料，所以他比较研究的时间跨度达到三四百年之久；其次，他基本上是在日落前后测量恒星和日月的相对位置，然后从后两者的运动理论来推断恒星的绝对黄经；不过，喜帕克斯可能已经用到相类似的方法了。这样的测定自然是相当困难和粗略的，但一旦将多个星座中的"参照星"位置测定之后，其他恒星的位置就可以从彼此的相对经纬度推求了。

托勒密星表

恒星表占据了卷七至卷八大部分篇幅，它一共列出分布在48个星座中的1022颗恒星，每颗恒星有四项数据：该星在星座中位置的描述；黄经；黄纬；以及"星等"（magnitude），即表观亮度从1至6等的划分。这是个详细和有系统的星表，它所列举的恒星（它们只有小部分有名称）

在今日大部分还可以清楚无误地认定，而且他凭肉眼判断所订定的星等也相当准确，最少在三等或以上者颇接近现代值①。在古代天文学中，托勒密星表是个重要成就，但并非没有人质疑。例如，有学者指出，星表所列出的黄经位置有系统误差，因此可能是全部抄袭自将近三百年前的喜帕克斯星表，只不过他将所有黄经值都增加了 2°40′，即加上由于进动而产生的额外黄经度而已②。

在此还须提到，虽然托勒密在《大汇编》中非常自觉和谨慎地将前人（特别是喜帕克斯）的发现和功绩加以记录和表扬，但自中古以来就有学者认为《大汇编》的数据有相当部分是抄袭甚至编造，以求符合其理论。这些指控至当代物理天文学家牛顿（Robert R. Newton）出版长 400 余页的《托勒密的罪行》而达顶点。我们无法在此讨论这复杂而且牵涉广泛的争论，而只能够指出古天文学史专家例如图默（G. J. Toomer）、史瓦罗（N. M. Swerdlow）和金格里奇（Owen Gingerich）等都不认同他的激烈观点③。其实，托勒密主要是一位理论家：从观测天文学角度看来，他不但受惠于喜帕克斯，而且技巧与谨慎恐怕亦有所不及④。此外，他所采用的数据有选择性，以求继续维持某些正统结论。那也就是说，他虽然提出了自己的天体运行模型，但基本目标则是在尽量不触动传统的前提下寻求进步，而不愿意面对矛盾或者掀起革命。这种矛盾的态度恐怕是他引起诟病的主要原因。

---

① 这已经有许多学者研究。图默《大汇编》英译本中的星表（Ptolemy 1998，pp. 341 - 399）中每颗星就都附有现代对应名称，以及相关研究的注释。

② 有关这方面的讨论和争论，见 *Thurston* 1994，pp. 150 - 155；以及其所引的 N. M. Swerdlow，"The enigma of Ptolemy's catalogue of stars"，*Journal for the History of Astronomy*，vol. 23（1992），pp. 173 - 184。

③ 见 Robert R. Newton 1977；其他史家意见见 G. J. Toomer，"Hipparchus and Babylonian Astronomy"，in *A Scientific Humanist. Studies in Memory of Abraham Sachs*，E. Leichty，M. DeJ. Ellis，& P. Gerardi，eds.（Philadelphia，1988），pp. 353 - 362；N. M. Swerdlow，"Ptolemy on Trial"，in *The American Scholar*，Autumn 1979，pp. 523 - 531。

④ 托勒密星表的准确度以及它是否抄袭自喜帕克斯的观测曾经为许多学者仔细研究，这在 Pedersen 1974，pp. 252 - 258 有详细讨论。

五、行星理论

《大汇编》最后部分即卷九至卷十三（约占全书篇幅的三分之一）是行星理论，也是喜帕克斯所未曾真正涉足，而由托勒密开创的领域。它是在日月运行理论的基础上发展出来的，基本格局相同：先确定各种不同运行周期，然后忽略其纬度变化，以本轮模型和偏心模型的结合作为描述行星在黄道面运动的基本方法，并将所得结果列成数表；至于纬度变化则留待最后一卷讨论。这基本策略能够成立，同样是由于所有行星轨道的以下特征：它们与黄道的倾角都很小，在3°以内，而且偏心率都很低（0.01－0.1），也就是非常接近圆形；唯一例外是偏心率（0.2）和倾角（7°）都特别高的水星，因此它的模型特别复杂①。

内行星模型

行星运动和日月运动有个基本差别：日和地以及月和地基本上都形成“二体系统”（two-body system），以地球为中心并无不可，不会产生特殊问题。但行星其实是绕日而非绕地运行，强以本身也在绕日运行的地球为中心就会产生特殊现象。这可以分为两类。首先，就处于地球轨道以内的“内行星”（水星和金星）而言，最自然的本轮模型是：以地球T为主轮中心，以日球S为本轮中心，以行星P的轨道为本轮（图7.7）。这样本轮中心S实际上就是“平均日”方向，它在主轮上旋转的周期必然是1年（回归年）；至于行星在本轮上的运动（它仍然被称为“异动”）实际上是我们所知的行星绕日运动，周期就是它的会合周期（synodic period）。同时，很明显地，内行星的日距角 ξ（即图中∠STP）有一定限度：$\xi \leqslant \sin^{-1}(r/R)$，其中r是行星的（实际）轨道半径，R是地球的日距；这也就是说，内行星永远“跟随”在日的前后，有所谓“合”（conjunction，$\xi=0$）但从来不可能有“冲”（opposition，

① 《大汇编》中的行星理论阐释见 Pedersen 1974，Ch. 9－12；这在 Thurston 1994，pp. 155－171 有更为简短扼要的综述。

$\xi = 180°$）的现象。

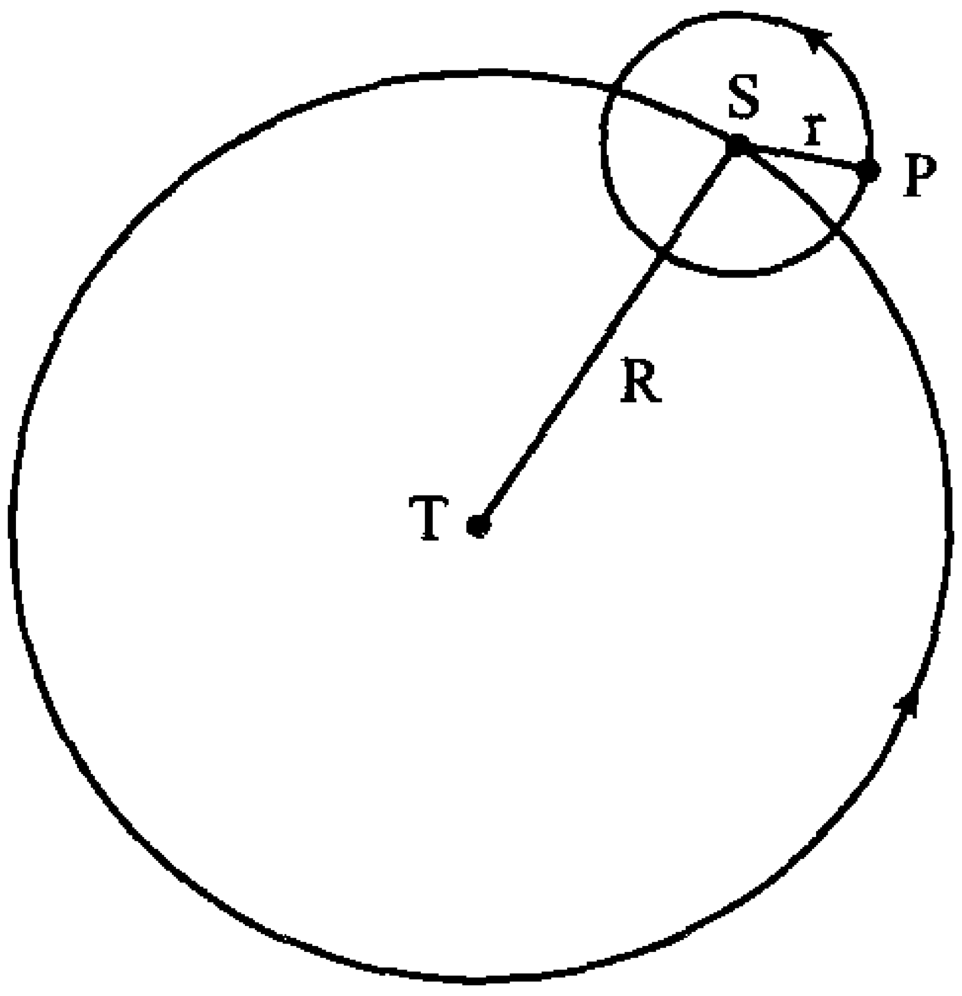
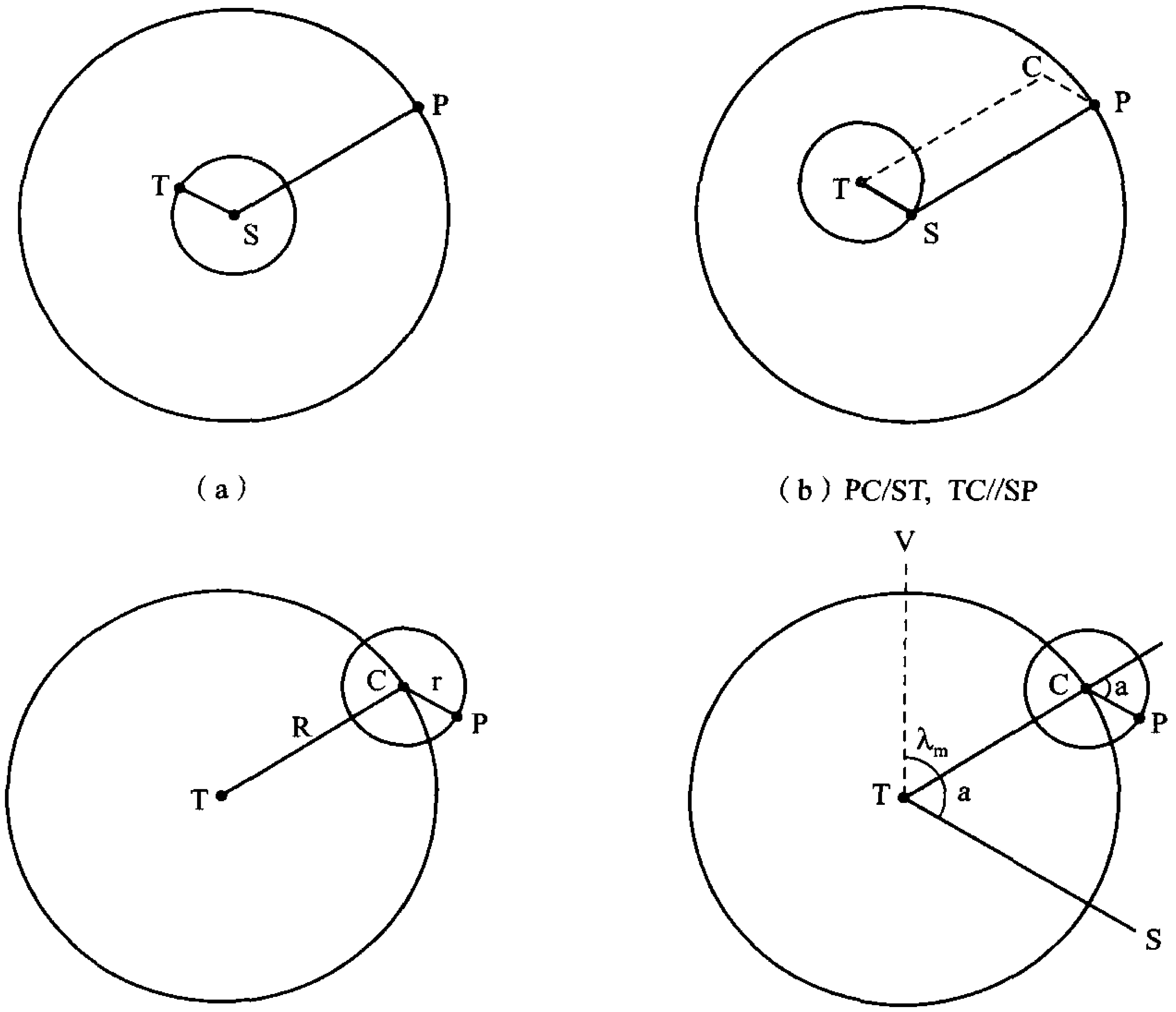


图 7.7 内行星的基本本轮模型

外行星模型

至于在地球轨道以外的“外行星”（火星、木星、土星）P 却不一样，因为实际上它们和地球 T 都是绕日运行，但轨道半径比地球更大（图 7.8a）。倘若以地球 T 为固定中心，则产生 7.8b 那样的图像，在其中 C 点是作平行四边形 TSPC 所得到的顶点。从此图看，最自然的本轮模型是如图 7.8c 所示：以地球 T 为主轮中心，以外行星的日距 SP = TC 为主轮半径 R，以前述顶点 C 为本轮中心，以地球的日距 TS = CP 为本轮半径 r。这样，本轮中心 C 的周期其实就是该外行星的回归周期（tropical period）T_t，行星 P 在本轮上的“异动”周期 T_a 则是地球的回归年，而行星相对于本轮中心的方向永远和相对于地球的日方向一致，即 CP∥TS。从此关系立刻可以推断 $\lambda_s = \lambda_m + a$，其中 λ_s 是平均日方向，λ_m 是本轮中心方向，亦即“平均外行星”方向，a 是外行星 P 的“异动量”，即它在本轮上相对于平均方向 TC 的角距（7.8d）。以上角度关系导致相应的角速度关系 $\omega_s = \omega_m + \omega_a$，由于角速度与周期成反比，就得到了 $1/T_s = 1/T_t + 1/T_a$ 这个周期关系，其中 T_s 是日绕地的周期亦即 1 回归年；T_t 为外行星的回归周期，T_a 为外行星的异动周期。



（a）

（b）PC/ST，TC//SP

（c）

（d）V为黄道上春分点方向，S为平均日方向，∠VTS=λ_s。注意CP//TS

图 7.8　外行星的基本本轮模型（参照 Thurston 1994，Fig. 6.21 重绘）

外行星和内行星轨道的最大差异是：前者的日距角可以是任何数值，不但有“冲”与“合”，还有“逆行”（retrogradation），即和平常方向相反的运行，以及“留驻”（station），即在顺行和逆行之间转变时的短暂停留不动。这些现象基本上的确可以用本轮模型产生。不过，与日月模型不同的是，在行星本轮模型中主轮和本轮运转的方向须得相同，而不再是相反。但这还不足够，因为实际观测到的逆行和留驻现象，无论就其弧度长短或者在本轮上的位置而言都有变化，简单本轮模型所产生的这些现象则没有变化。因此托勒密需要引进其他可以调节的机制来容纳这些变化，那很自然地就是偏心点。换而言之，就是需要结合本轮模型和（经修订的）

日偏心模型。这个模型的基本结构见图 7.9，但要根据观测数据来决定模型参数（即偏心量 e 和本轮半径 r，主轮半径 R 如常定为 60 单位）和行星的远地点则需要作相当繁复的运算，这些就不赘述了。

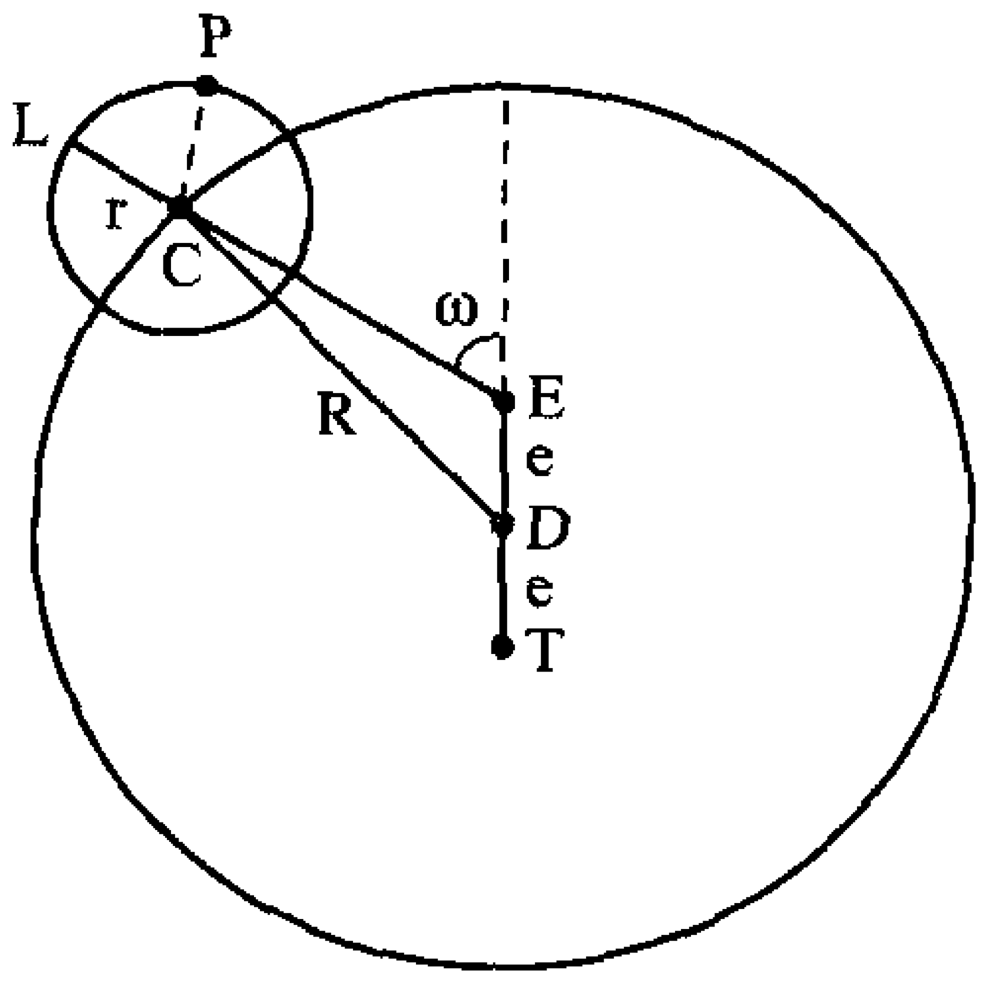


图 7.9 外行星与金星的“偏心—本轮模型”，其中 D 为主轮中心，T 为地球，E 为地之对等点（equant），TDE 成直线，C 为本轮中心，P 为外行星，EC 以固定角速度 ω_t 运转，PC 以固定角速度 ω_a 运转，参照方向为 ECL。

行星理论的实际应用

要将上述标准模型应用于个别行星还有其他需要特殊处理的细节。首先，金星以及所有外行星都可以用标准模型，但是偏心率和倾角特高的水星则需要更复杂的模型，那基本上是将标准模型中固定的“对等点” E 变为一个旋转的“偏心轮”，这与月球的曲轴本轮模型（见附录）相似。其次，行星的纬度变化需要分别处理，而这和月模型不一样，主要因为白道本来就是环绕地球的。就外行星而言，主轮被视为平置于黄道面上，本轮则倾斜于黄道面，但内行星的模型却刚好相反。这些特殊而并不切合实际状况的假设导致了非常复杂的计算。那么，经过繁复计算之后以上各个模型所产生的最终结果怎么样呢？与实测数据比较，它们各有不同准确度：外行星的经度误差平均为 10′—25′，最大误差在 30′—55′之间。金星的平均和最大误差分别是 1°和 4.5°，但这主要是托勒密计算观察数据的错误所引致，倘若用最佳参数的话，那么两个误差就分别减低到 10′和 20′，与外行星相若了。至于水星则误差相当大，平均达到 3°，最大误差更高达将近 8°。因此，托勒密的

行星经度运行理论可以说基本上是相当准确的，但就水星而言，则不能够算是成功①。

《大汇编》第十二卷专门讨论行星的逆行和留驻。本来，在经度运行理论完成之后，这两个现象原则上就可以直接推算。然而，在托勒密的时代还没有从经度位置的时间函数 $\lambda(t)$ 推算角速度 $\omega(t)=d\lambda(t)/dt$ 的观念和数学方法；倘若要逐步仔细计算 $\lambda(t)$ 以得到留驻点和逆行段却又需要浪费大量计算精力。在这困难情况下幸而阿波隆尼亚斯曾经证明过一条几何定理，可用以决定本轮模型在何种情况下会出现留驻现象。托勒密就是通过证明、推广和应用这定理，来决定他的行星模型中的留驻点，并且据之以编制数表，从而完成整个行星理论的②。因此，在《大汇编》的结尾托勒密又从他的计算型理论回到早期的几何型理论，这显示前者虽然成功，但仍然需要以后者来补其不足。

六、广博的科学成就

在一般人心目中，欧几里德就等于《几何原本》，其实不尽然。同样，托勒密好像就等于《大汇编》，其实亦大不尽然：在此以外他还有遍及天文、地理、光学、乐理等领域的许多其他著作，而且都幸运传世，令我们得以窥见古代西方科学的整体面貌③。

其他专业天文学著作

在倾力完成《大汇编》之后，托勒密还陆续写出五种其他天文学专著，这包括（A）《数表手册》（*Handy Tables*）：它是《大汇编》里面所有与天文、数学计算有关数表的集子，而且经过修订、改进和扩充，这对于伊斯兰以及中古西方天文学家影响甚大，他们所通用的天文手册往往以

---

① 有关托勒密行星理论的准确度，见 Thurston 1994，pp. 163 – 164，169 – 170。

② 有关阿波隆尼亚斯的定理及其推广，见 Pedersen 1994，pp. 331 – 343；其应用于逆行与留驻现象，则见同书 pp. 343 – 354。

③ 托勒密的其他著作奈格包尔各有详细论述，见 Neugebauer 1975，Bk. V，Sect. B。

此为依据，或者是跟从其计算方式与编排[1]。(B)《行星公设》(*Planetary Hypotheses*)，两卷，下卷仅存阿拉伯译本：此书专门讨论行星模型，但是和《大汇编》并不尽同，其中最引人注意的是他超越基于几何假设的计算而追求物理性亦即实质天文结构的企图。因此他不再仅仅以天体的主轮、本轮为几何构造，而视它们为互相紧套的"环条"，并且从这实质性构想来实际估算自月球、水星、金星、日球、火星、木星、土星以迄恒星球面的距离、直径和体积。这表明他是充分意识到《大汇编》与真实世界之差距的。(C)《恒星相》(*Phases of Fixed Stars*)，两卷，仅存下卷：主要是明亮恒星的偕日升落（heliacal risings and settings）历表，这是古代天文学的重要题材，但后来已经不再受注意了。(D)《日晷座板》(*Analemma*)，仅存中古拉丁译本和少数希腊文残篇：它是以图解方法来作天球上圆弧的正交投影，以决定日晷角度的说明。(E)《球面投射法》(*Planispherium*)，仅存阿拉伯译本：讨论如何将球面上的圆投射到平面上，特别是将以黄道面为基准的天球投射到地球的赤道面上。这是制造平面"星盘"（astrolabe）的基本理论[2]。

从以上著作可见，虽然《大汇编》是高度理论性著作，然而托勒密的学术趋向并不限于几何学或者理论范畴，而是带有相当浓厚的物理和实用色彩。而且，这也表现于他在天文学领域以外的工作。

西方地理学传统

在天文学以外，托勒密最重要的科学贡献无疑是在地理学，特别是地图学。他所留下的八卷本《地理学》(*Geography*)是古代地理学的典范[3]。然而正如《几何原本》和《大汇编》一样，此书并非开山之作，而

---

① 此手册的详细论述，见 Neugebauer 1975，pp. 969 - 1028。

② 有关此书以及球面投射法的发展历史，见 Neugebauer 1975，pp. 857 - 879。

③ 此书有两种英文译本：Berggren and Jones 的新近译本（见 Ptolemy 2000a）较为仔细和严谨，并且附有长篇导言，但只全译了关于地图制作的第一章，至于有关实际地理描述的 2 - 8 章则只翻译了 2，7，8 章的部分以作为"样本"；Stevenson 的旧译本（见 Ptolemy 1932）接近于全译，但质量受到批评。

是一个长达四百年传统的结晶①。在上文我们已经陆续提到迅速发展中的天文学对于地理学的刺激和推动，特别是埃拉托色尼的开创之功以及喜帕克斯、狄奥多西和博斯多尼乌等连串科学家在这方面的继承和多种著作，从而导致以数学为基础的地理学传统之出现（见§5.5—5.6）。但是这传统之真正壮大和成为一门独立学科，恐怕还得从地理学家斯特拉波（Strabo of Amasya，约公元前63—公元24）算起②。他生长于罗马帝国初期，家庭富有，因此得以在本城阿马西亚（Amasya，处于今日土耳其北部）和罗马学习，以及在东地中海各地游历，然后在亚历山大图书馆博览群书，从容构思巨著，这就是他在公元1世纪之初完成的17卷《地理志》（*Geographia*）。它视野宽广，规模宏大，包含地理学的数学、地形、政治、历史等四个不同方面，并且广为参照、搜罗前人有关著作，特别是埃拉托色尼的《地理学》以及其他具体资料，将之融会其中，该书因而成为西方古代地理学内容最丰富，也最重要的百科全书③。不过，斯特拉波基本上是一位哲学家和历史学家，他的著作虽然包罗万有，巨细靡遗，然而在地理学的根本理论即地图绘制方面，却只有简短讨论——从中我们可以知道，地图绘制原理从埃拉托色尼开始就已经是地理学家关心和探讨的问题④。

对于托勒密来说，比斯特拉波更重要的是马林诺斯（Marinos of Tyre，约60—130）。他活跃于公元100年前后，在其时由于亚历山大东征和罗马帝国一统西方的影响，“已知世界”即所谓 *oikoumene*（普世）的观念出现已久，地理学家因而强烈意识到，要仔细描绘处于弯曲地球表面上的这个庞大世界整体，就需要有系统性方法来将球面上的位置、线条在平面上重现。马林诺斯的《世界地理图之修订》有可能就是应用喜帕克斯所发展的数理天文学来纠正、改进博斯多尼乌的著作，特别是他所流传下来的地图。他在这部著作中提出以方格网作为地图坐标，在其中横方向（x

---

① 讨论古代西方地理学传统的有下列专著：Thomson 1965，但它偏重于人文和历史地理学。

② 关于斯特拉波的生平、著作、学术背景等等，见下列专著：Dueck 2000。

③ 此书有 Horace Leonard 翻译的 Loeb Classical Library 版希腊文与英译对照本，见 Strabo 1917－1933。

④ 见 Ptolemy 2000a，p. 32 所引 Strabo 2. 1（Strabo 1917－1933，vol. 1，pp. 253－361）。

轴）代表经度，纵方向（y 轴）代表纬度，而纬度差倘若等于经度差的时候，则相应距离的比例可固定为 5∶4（图 7.10）。这方法类似于制图学（cartography）上的圆柱投影法（cylindrical projection），它有非常简明的好处即方位正确，不过，如托勒密在其《地理学》第一卷指出，它所显示的沿纬线方向距离只有在纬度 36°—37°即罗德斯岛附近才准确，在高纬度和赤道附近会有极大误差；同时，这样的正交方格网和人眼所见地球仪上的经纬线形状也不符合。当然，在小范围内这方法还是最简便和明确的：托勒密在《地理学》的区域图就采用它。

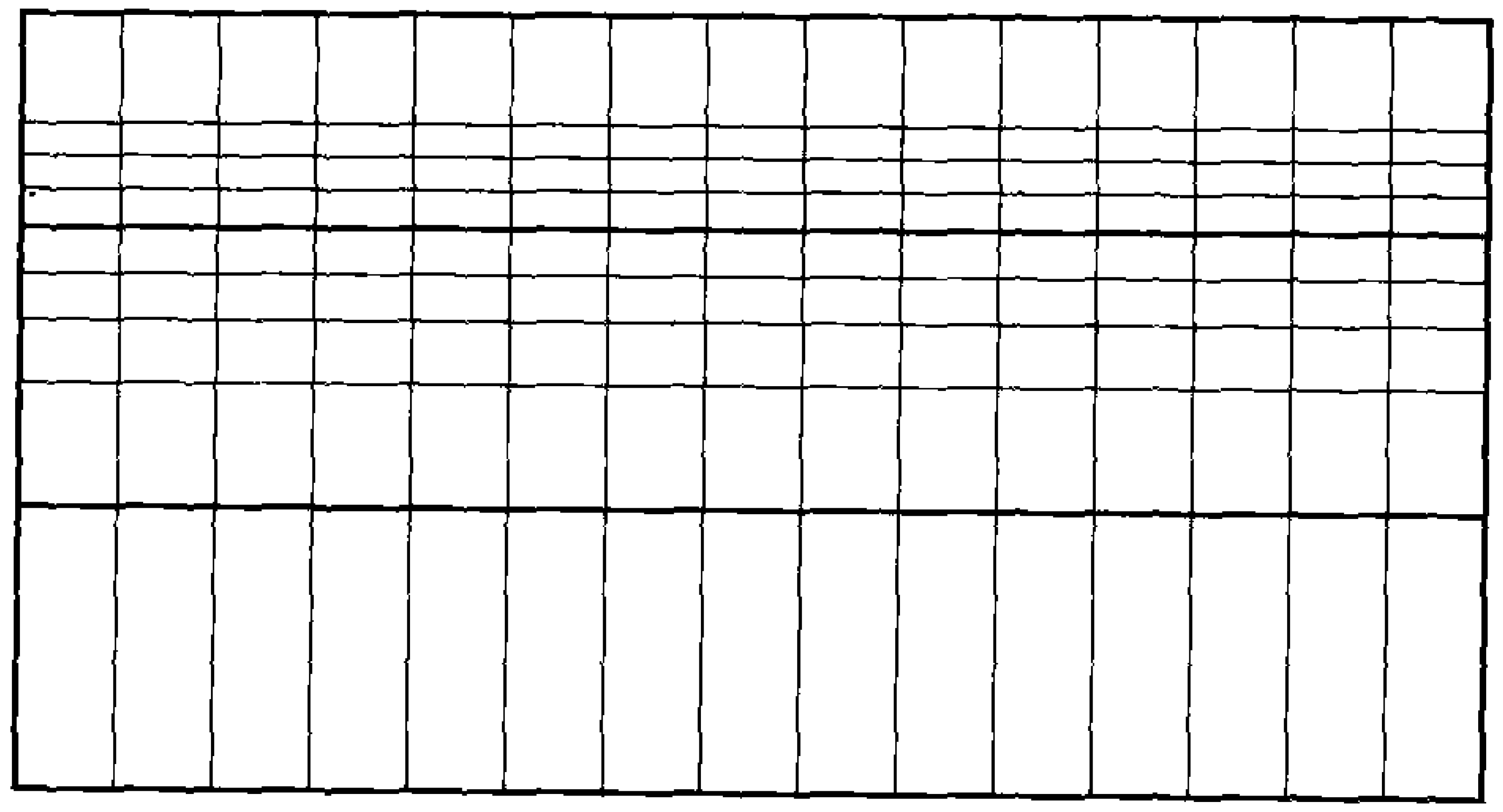


图 7.10　马林诺斯投影地图的网格（根据 Ptolemy 2000a Fig. 10 重绘）

托勒密的《地理学》

托勒密的《地理学》一共八卷，其中第一卷讨论地图绘制，包括对马林诺斯的详细批判——这其实是我们藉以知道后者的唯一资料；第二至第七卷是地理志，它列出了大约八千个地点和数百个重要城市，包括它们的经纬度，以及方位、相关自然地貌，如山川、河流、海岸、岛屿的描述，等等；第八卷则是 26 幅区域地图，每图附以详细图注，说明该区域的边界和其中的重要城市。整体而言，这部巨著的至终目标是要纠绳和超越马林诺斯，把当时已知世界的全部作一个全面、详细和可以让后世覆按的记录，这记录既有绘制的详细地图，也还有文字和经纬度数据，以使难以复制和长远保存的地图湮灭之后，它还可以根据确切的

数据来重建。

这部大书最令我们感兴趣的，是第一卷 21—24 章论地图制造的部分①。对托勒密来说，当时的“已知世界”略约为整个地球表面的四分之一：它西起大西洋中的“Blessed Isles”（即加纳利群岛 Canary Islands，这被定为经度起点），东迄恒河以东笼统称为“丝地”（Seres，当即中国）之处，估计东西相差 12 小时或经度 180°；北达波罗的海 Thule（约 63°N），南抵想象中的 Anti-Meroe（16°30′S）。他从地球仪上知道这样广大的区域是高度弯曲的，所以认为要把它“如实”表现在平面上（以制造可以容纳细节的大幅地图）应当符合两方面要求：纵横两个方向的距离都必须大致保持准确；也不能过分歪曲地球仪所予视觉印象——特别是经线在高纬度应当聚拢。

在这两个要求下他提出了两个方案。第一个方案（图 7.11）是以观者围绕地球仪走动，依次正对每一条经线为基础的：所以经线表现为从 O 点（相当于锥顶）放射的直线，纬线表现为以 O 为中心的圆弧，并且要求：63°N 纬线长度与 0°N（即赤道）纬线长度的比例合于实际；经度在圆弧即纬线上平均划分，纬度则在经线上平均划分，至于经度和纬度两个方向的距离比例，则以其在北纬 36°（即罗德斯岛）等于 4:5 为准。但这个方案在赤道以南会造成经线方向距离的很大误差，所以在此区他宁愿放弃数学上的自洽，而改用与赤道以北对称经线有相同长度的圆弧。这方案相当于圆锥投影法（conical projection）之一种，但在赤道以南则属假圆锥投影法。和马林诺斯的办法相比，它显然有很大改进：视觉歪曲减低，而经度方向距离的误差也大大减少——在 63°N 为 10%，在赤道为 67%，马林诺斯的则分别高达 77% 和 100%。倘若应用现代以球心为投射点的准确圆锥投影法，那么纬度就不再会平均划分，这样经度方向的距离误差可以减低到 20% 以内。

---

① 托勒密地图绘制理论除了 Ptolemy 2000a 这译本的导言以外，尚见 Neugebauer 1975，pp. 879 - 890。

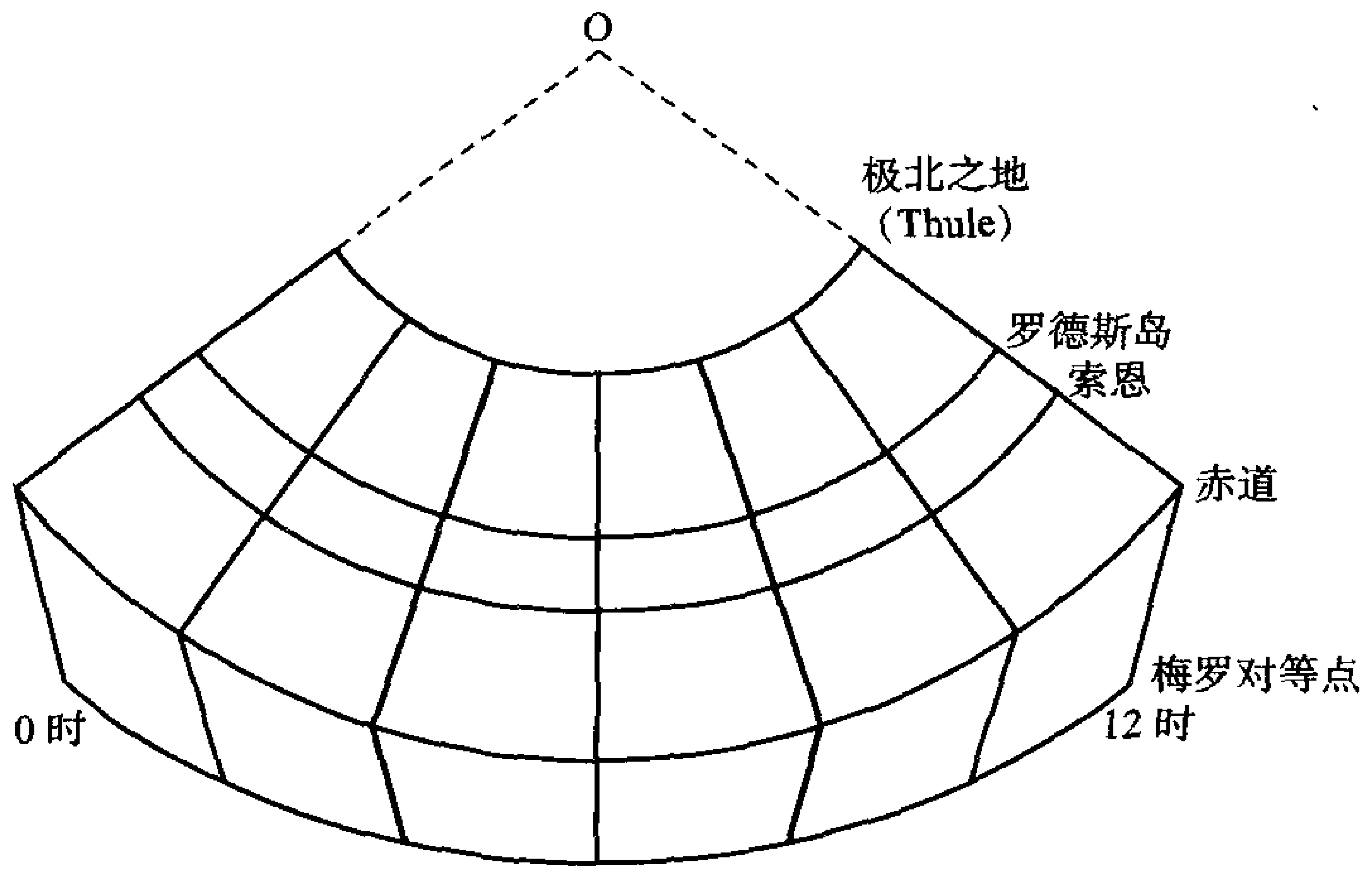


图 7.11　托勒密第一投影方案的网格（根据 Ptolemy 2000a Fig. 11 重绘）

Thule 岛在 55°—63°N 之间，是当时所知最北的地点，梅罗（Meroe）在白尼罗河与蓝尼罗河两条支流交汇点附近，约 15°N 左右；"梅罗对等点"是假想中的 15°S。索恩（Soene）在今之阿斯旺（Aswan）即北回归线附近。

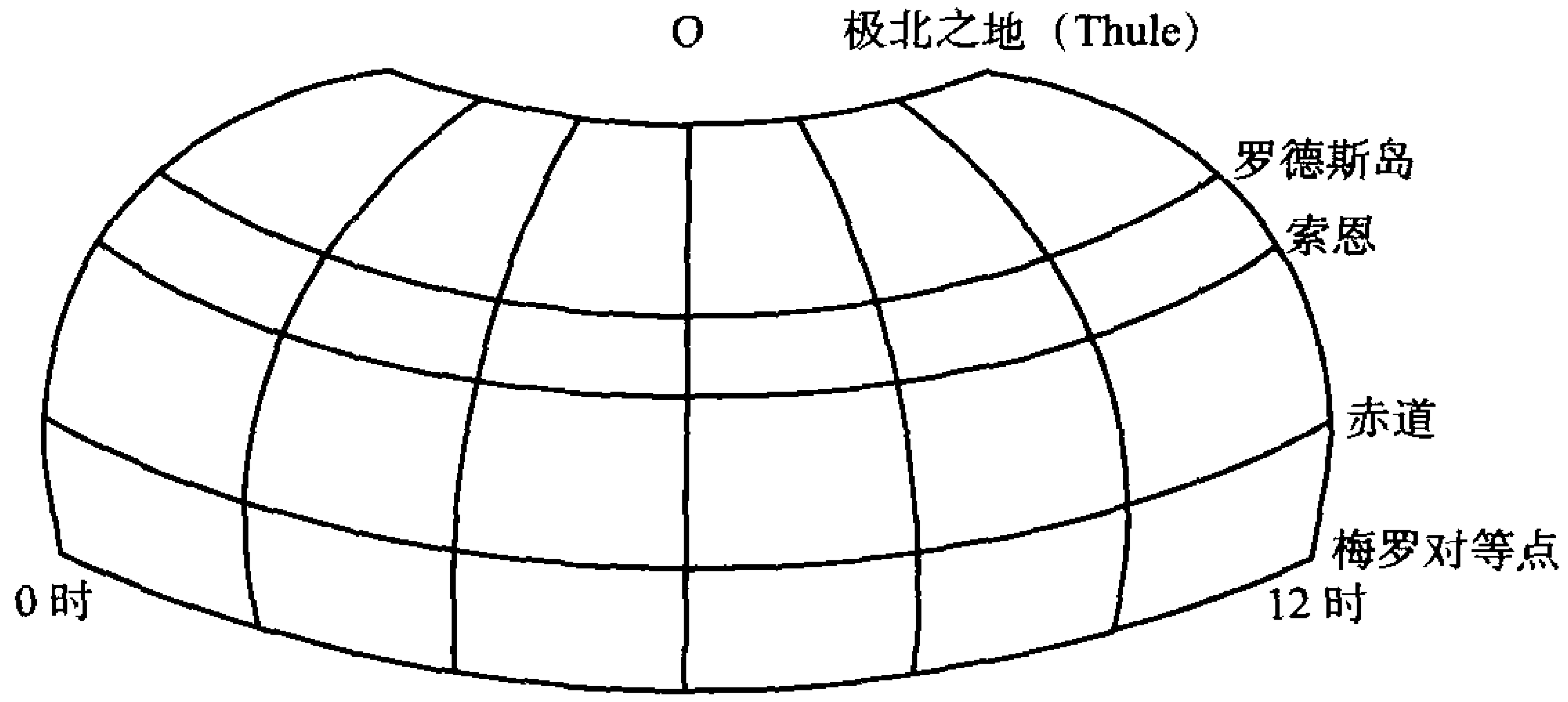


图 7.12　托勒密第二投影方案的网格（根据 Ptolemy 2000a Fig. 12 重绘）

至于第二个方案（图 7.12）则是上述投影法的改进：观者在固定的中心位置观看地球仪，所以经线会出现弯曲。它实际上的构造方法是这样的：纬线仍然是以 O 点为中心的同心圆弧，但 63°N、36°N 和 16.5°S 等三条参照纬线的弧长比例则都要求合真。其次，这三条纬线各自均分为经度

参照点，最后分别作圆弧经过每组对应的三个经度参照点，就得到了相应的经线。这方案更加减低视觉歪曲，接近以透视法描绘地球表面的效果，同时经度方向距离误差也进一步大幅减少——18 世纪出现的“蓬投影法”（Bonne projection）要求所有（而不只是三条）纬线长度都合真（这样一来，经线自然就不可能再是圆弧），显然就是以这第二方案为基础的。

托勒密实际所绘制的世界地图并没有流传下来——这样的地图可能有 1 米高，2 米宽，那并非当时习用的纸草手卷所能够容纳，所以一般会以挂图的形式出现。《地理学》的希腊文本于 14 世纪末从拜占庭传入西欧，于 1406 年由安哲罗（Jacopo d'Angelo）翻译成拉丁文，自是广为传播，于 1475 年印刷出版。这对于西方地理学、绘图法无疑有决定性影响，它对于 15 世纪航海家、探险家的刺激、助力，以及对西方人世界观之塑造，都是不言而喻的。

光学：实验科学的先导

在数学、天文、地理这些“显学”以外，托勒密也还涉足于当时同样具有相当久远传统的其他两门科学，即是光学和音乐。就光学而言，欧几里德已经撰写过一部《光学》，而阿基米德和赫伦也各有反射光学（catoptrics）著作，赫伦更以最短途径原则证明了反射角等于入射角的定理。所以，在托勒密时代这已经是有四五百年历史的学科，以他的勤恳和博学，撰写五卷本《光学》是很自然的。这部著作开头两卷讨论视觉原理，随后两卷讨论反射光学，最后一卷讨论折射现象。由于在他之前只有欧几里德的光学著作得以流传，所以很难断定这里面有多少是他的创新和发现。也许，此书最值得注意的是它题材之宽广以及与现代实验精神之接近。这特别在仪器的设计和应用为然：托勒密不但制造实验仪器来研究由双眼并用而产生的立体视觉，而且已经懂得应用凸透镜、凹透镜以及它们的组合来成像，并且试图发现有关影像位置和大小的规律，更曾经用一个周围刻上角度度数的圆盘来研究光线以不同入射角在水、玻璃、空气等不同介质之间的折射，从而得到接近于现代斯涅耳定律（Snell's law）的结果——虽然他并没有把实验数据归纳成为数学形式。最后，他还研究了大

气折射作用对于天文观测的影响①。整体而言，这部《光学》是有深度和启发性的，它深刻影响了伊斯兰光学家海桑（Alhazen）的《光学汇编》，而后者则为格罗斯泰特（Grosseteste）和罗杰培根（Roger Bacon）等欧洲中世纪光学家的工作奠定了基础。

乐理：科学和艺术的平衡

至于音乐的研究自然更是奥菲士教派、毕达哥拉斯教派和柏拉图的大传统，我们在第四章已经详细讨论了费罗莱斯对于音乐和数学关系的基本发现，以及阿基塔斯对于声音性质的看法。在他们之后，希腊音乐理论的发展一直没有停止，这其中最突出的是亚里士多德弟子亚里士多塞诺斯（Aristoxenus of Tarentum，约公元前4世纪），他虽然曾经师从毕派学者，却另辟蹊径，在所著《乐理》（*Hamonics*）② 一书中将音乐的数学原理和听觉要求结合起来，使它在科学与艺术之间取得平衡。此外埃拉托色尼在音乐上也有著述，事实上他的贡献是依赖托勒密的征引得以保存的。

托勒密的三卷本《乐理》（*Harmonica*）是此大传统的产物③。它一方面旁征博引，讨论前人留下的音阶，另一方面则力求持论公允，折中于毕派和亚里士多塞诺斯两个阵营的对立乐理观之间，也因此对双方都加以批判："毕派学者不顾听觉（这是人人都应当注意的），往往将不符合现象的比例加于声音的差别，以致受对立派别攻击。亚里士多塞诺斯一派只顾及主要凭借观感所得数据，误将理性当作次要，以致证据与理性皆失"④。这自然是与托勒密的一贯作风相符合的，即注意征引，以及极力要在数学与现象之间取得平衡。不过，此书虽然提出了一些有关音阶的新见解，它显然并非以创意为主，也并非旨在促进音乐专业。它真正的目标毋宁是论

---

① 有关托勒密在光学方面的贡献，见 Neugebauer 1975, pp. 892 - 896 以及 DSB/Ptolemy/Toomer；至于《反射光学》一书，原本及其阿拉伯译本俱已失传，只有后者之拉丁文译本留存，但首尾（即卷一及五）不全，它有以下论述及英译本：A. M. Smith 1996。

② 英译本为 Aristoxenus/Macran 1990；此书 pp. 87 - 89 对亚里士多塞诺斯在乐理上的开创性贡献有扼要讨论。

③ 英译本为 Ptolemy/Solomon 2000b。

④ Ptolemy 2000b, pp. 8 - 9.

述“和谐”，包括音乐的和谐如何能够与灵魂的和谐，乃至宇宙的和谐相通：此书第三卷最后部分甚至讨论了黄道带与行星轨道的和谐划分。显然，毕达哥拉斯教派的音乐理念仍然在发生作用，而且，这样的影响最少将持续到17世纪的开普勒。整体而言，比起他在其他领域（包括下面讨论的星占学）的成就来，托勒密的乐理学不免显得略为失色，甚至有点聊备一格的味道。

星占学：在希腊与巴比伦之间

最后，我们还必须提到托勒密的星占学（astrology）著作《四部书》（*Tetrabiblos*）①。以今日的眼光看，像托勒密那样一位终身服膺理性和数学原理的大科学家居然会耗费精力于没有根据的占卜之学，甚而著书立说，实在是匪夷所思。不过，在古代，甚至一直到18世纪现代科学观念确立之前，这是很普遍的现象：不但在托勒密以前的毕达哥拉斯将科学与宗教信仰相结合，而且在他之后大多数科学家也仍然醉心、致力于占卜、魔法、炼金术等等的研习，托勒密只不过是亚历山大科学家中最早也最显著的一位罢了。而且，这并非偶然：虽然亚历山大学派（假如我们可以很笼统地用这么一个词语）已经脱离毕氏教派乃至柏拉图神秘主义的影响，而成为接近于纯科学研究的群体，然而，如上一章曾讨论过的，在公元前后毕氏教派就已经“复活”而且影响力与日俱增。从公元2世纪左右开始，东方本土宗教、教派也对希腊哲学、思想发生深刻影响，乃至与之胶结、混合为一体。自此星占学和天文学就产生密不可分关系，而为大部分后代学者所同时研习，托勒密这部占卜著作的出现正是这一大趋势的标志和象征。

《四部书》的基本观点是：日月对于日夜、季节、潮汐和许多其他地上自然现象有明显影响，那么，显然一切天体对于地上的其他事物，例如国家、民族兴衰，乃至个人顺逆成败也应当同样有影响——虽然那未必是决定性影响，而只是众多影响因素之一。根据这原理，书中赋予每个天体以及黄道带上的每个星座以特定性格，例如冷、热、安宁、躁动、平和、

① 英译本：Ptolemy/Robins 1964；在互联网上也有此书的翻译全文可供参阅。

争战，等等，然后从它们在不同时辰的运行、冲合来讨论当时形成和发生的人和事。我们自然不必深究这一套星占的观念和运作方法，但以下两点却值得注意。首先，它的整个观念系统大抵起源于巴比伦，然后通过商贸交流和人口流动而传播到地中海世界：祭司贝罗索斯移居科斯岛，就提示了这种传播的途径（§4.5）。其次，《四部书》的星占观念虽然缺乏实证根据，却说不上迷信或者反科学，因为它并没有求助于人格化的超自然力量，即所谓怪力乱神。从这一点看来，在此书中理性精神仍然未曾泯没。它在后世享有大名，但始终不十分流行，大概也与此有关。

托勒密是西方古代科学的集大成者，在他身上古代宇宙系统得以完成，这系统的核心仍然是以古希腊几何学为典范的重智和推理精神。然而，其学问的整体却并不局限于此精神。如我们在上面所见，《大汇编》的推理与计算都有着强烈的实用倾向，他在其他领域的著作更不乏脚踏实地的实验与探索精神，甚至也反映了在他那个时代所充斥罗马世界的神秘主义。在西方思想中神秘主义与科学理性两者之间的巨大张力，将一直持续到17世纪甚至更晚。

七、传统的回响与终结

托勒密的系统虽然辉煌壮观，但说到底，罗马时代并不属于科学和哲学，而属于帝国和宗教，所以在它之后，西方科学便进入夕阳阶段。不过，这仍然是一段漫长时光，而且不乏动人心弦的晚钟，像3—4世纪的杰出数学家丢番图和泊布斯；但此后则暮霭四合，只能够见到希帕蒂娅与波伊提乌那样的悲剧人物，和普洛克鲁斯、尤托斯乌和辛普里修斯那样的评注家了。

代数学雏形：丢番图

亚历山大学宫的科学传统，也就是赫伦、曼尼劳斯、托勒密等的传统开始偏向于计算，但只是偏离几何推理方式，还说不上在内容和方法上另立典范。向这方面踏出一大步的是在他们之后百年的丢番图（Diophantus of

Alexandria，约200—284)。他的生平实际上也几乎是空白一片，但他的十三卷《算术》(*Arithmetica*) 则有六卷传世，使我们得以窥见古代西方代数学雏形之诞生①。此书主要是解决两类代数方程：(1) 决定型 (determinate) 的一次和二次代数方程，包括联立方程；(2) 不定型 (indeterminate) 方程和相关问题。此书最重要的创新是在于符号的应用：例如未知数、相等、倒数、二次至六次幂、相减等运作，在书中都应用特殊符号表达，因此就出现了类似于方程式的数式。不过，它所应用的符号种类不足 (例如只有一个而非多个未知数符号，加和乘缺乏符号，相除仍然用文字表达，等等)，所以这还只是处于文字和方程式两个阶段之间的“类方程式”；而且，它仍然未曾意识到二次方程有两个根，也没有发现负数 (因此它的二次方程必须区分为三个类型) 或者方程式普遍解的观念。但无论如何，它已经向符号数学方向跨进一大步了。此书另一方面的突破在于解决了许多不定方程问题，包括 $x^2 = 1 + py^2$ 型的所谓佩尔 (Pell) 方程。也就是说，它开拓了所谓“不定分析”的整个领域，这也因此称为“丢氏分析”(Diophantine analysis)。它的局限是：即使是明显有无限多解的不定方程，书中也仅仅以给出单解为满足。

此书可能远远超越时代，所以其大半在完成不久就已经失传，而且它虽然有阿拉伯译本，在中古却一直不为人注意，直至15世纪末的拉哲蒙坦那 (Regiomontanus) 才提到它，16世纪中叶的邦贝利 (Bombelli) 方才吸收和应用其中观念，它之翻译和出版则迟至1621年，而费马 (Fermat) 才是第一位深受其影响的大数学家 (§11.9及§12.4)。因此它在符号代数学方面的发明对欧洲16世纪代数学的发展几乎毫无帮助，这是十分可惜的。

综观西方数学发展的整体，希腊几何学的出现意味着久远的巴比伦—埃及传统之经历革命与大转折，但是我们却不能够以几何学概括西方古代

① 有关丢番图见 DSB/Diophantus/Vogel；详尽的论述（包括其数学的埃及根源），见 Heath 1965，ii，Ch. 20；较简明的见 Boyer 1985，pp. 198 - 204。他的《算术》有法译本，以及部分英译本，即 Diophantus/Sesiano 1982。

数学：从赫伦以至丢番图的发展显示，原来的计算型数学其实并没有中断或者消失，却是在不甚为人注意的情况下继续向前发展而产生了雏形代数学。因此，古代西方数学其实具有两个性质、方法、目标都不相同的范式，虽然它们的显隐也是不一样的。

几何学殿军：泊布斯

在丢番图之后一个世纪，亚历山大出现了它长达六个世纪科学传统中最后一位杰出数学家，那就是古代几何学殿军泊布斯（Pappus of Alexandria，约290—350）。和赫伦、托勒密、丢番图等亚历山大本地科学家一样，他也没有任何政治、宗教或者哲学背景，因而当时藉藉无闻，身后事迹湮没，仅以其七卷《数学汇编》（*Collection*）留名后世[①]。《数学汇编》内容涵盖整个几何学领域，其目的在于充分展示其精深奥妙，藉以重新振兴这门学问，其中既包含前人成果，亦不乏新发现。此书有三方面论述。第一类是将几何问题划分为可用圆规直尺解决的“平面型”、可用圆锥曲线解决的“立体型”，以及需要利用其他曲线解决的“线性型”等；然后指出传统几何三大难题不属于“平面型”，特别是三分角问题属“立体型”，并且给出了两个利用双曲线解三分角问题的示范。不过，这只是总结经验而已，有关三大难题为“非平面型”的确切证明要等到19世纪方才出现。第二类论述是将前人的几何定理加以推广或者引申，甚或提出独立发现，这其中有大量令人惊叹的精妙结果，图7.13所示有关三个半圆中的内切圆系列之特殊性质就是很好的例子。至于第三类则是几何学上的新发展，这主要见之于《数学汇编》第七卷，其中最重要的包括投射几何上的重要创见，以及有关高次轨迹的研究。可惜他在这方面的重要专著《推论》（*Porism*）已经遗失，我们无从深究他的发现究竟是否接近解析几何学了。此外《数学汇编》第七卷还保存了大量古代数学史资料。

---

① 泊布斯的论述，见 Heath 1965，Ch. 19 以及 Boyer 1985，pp. 204 –211；其《文集》第七卷英译本，见 Pappus/Jones 1986。

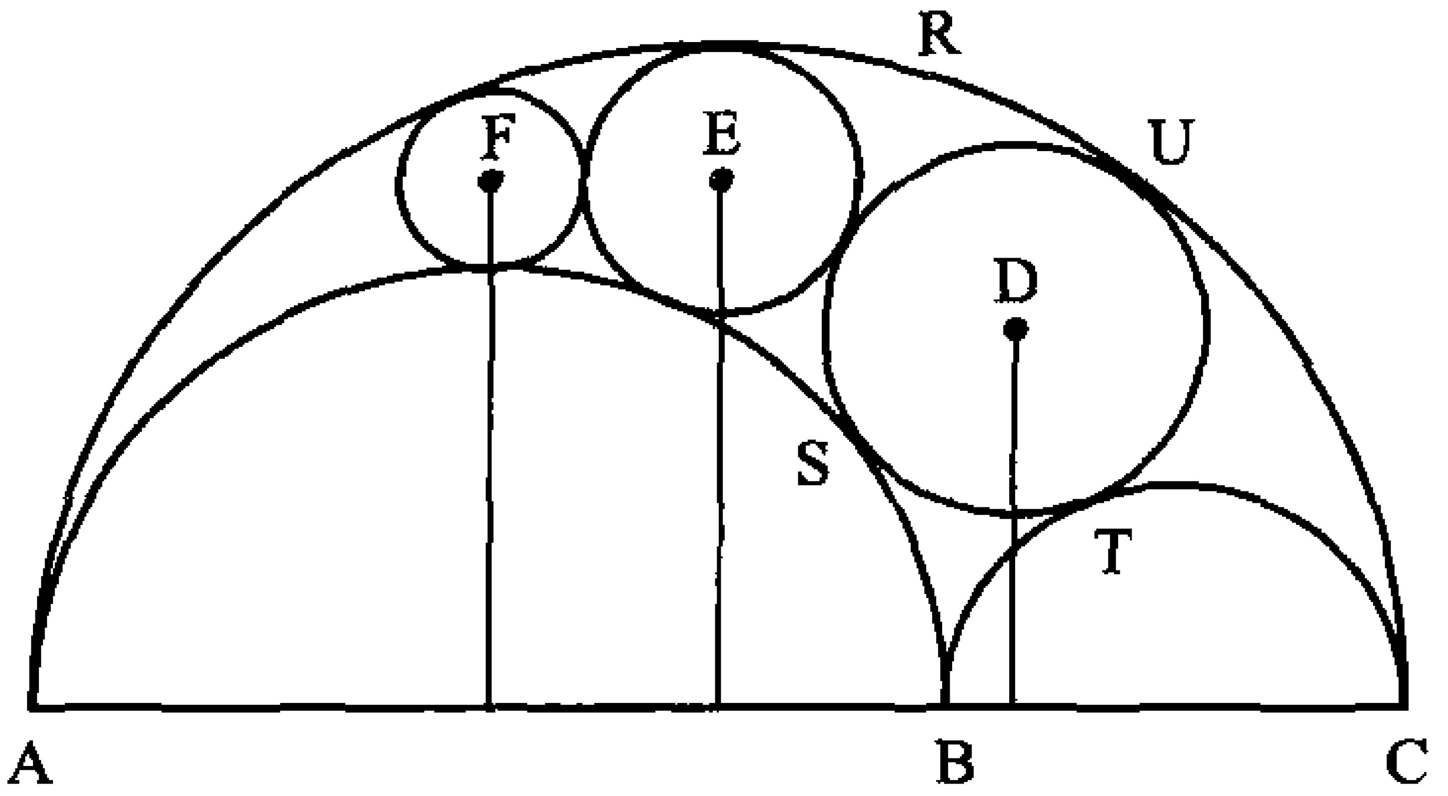


图 7.13 令 ARC，ASB 及 BTC 各为半圆，AC、AB 及 BC 分别为其直径，B 为 AC 之任意分割点；又令 D 圆内切于上列三半圆，其直径为 d_1，圆心 D 垂直于 AC 之距离为 p_1，E 圆内切于 D 圆及 ARC 与 ASB 半圆，其直径为 d_2，圆心 E 垂直于 AC 之距离为 p_2，F、G、…圆亦均如之；则可证明 $p_1 = d_1$，$p_2 = 2d_2$，$p_3 = 3d_3$，…。此问题的详细讨论，见 Heath 1965，ii，pp. 371 - 377。

亚历山大传统的结束

在 4 世纪下半也就是泊布斯之后，亚历山大和雅典再没有出现富有创造力的科学家，然而还是有不少能够了解前代大师作品的学者。他们集中于讲学，由是留下的评注（commentary）形式讲稿提供了大量科学史资料和许多失逸作品的梗概①。这些学者的第一位是出生于埃及的塞里纳斯（Serenus of Antinoupolis，约 300—360），他的阿波隆尼亚斯《圆锥曲线》评注不幸失传，倒是他自己的《论圆柱体截面》和《论圆锥体截面》得以流传，让我们知道他自己也还有阐发。特别是，他证明以平面交截圆柱体或者圆锥体，那么在适当情况下可以得到完全相同的椭圆曲线。

在他之后最重要的评论家是亚历山大的施安（Theon of Alexandria，335—405）。他很可能是学宫最后一代学者，著有欧几里德《几何原本》、《引论》、《光学》等多种作品以及托勒密《大汇编》和《数表手册》的评论，可以说是古希腊科学著作的评论大家。他的《几何原本》评论特别重要，因为长久以来这也是《几何原本》在西方最完善、最通行的希腊文本，一直到 19 世纪才发现了更早的抄本。这些评论和相关文本不但

---

① 有关本节资料，见 Heath 1965，ii，Ch. 21；有关施安，见 Neugebauer 1975，pp. 965 - 969。

有助于现代译本的校订，而且本身也包含重要信息。例如他曾经为《数表手册》写作深浅不同的两种评论，浅显者是为了解释数表的应用而不及于其构造原理，反映出当时学生程度低下，才智之士已经不再为科学所吸引了。至于《大汇编》评论则并不精彩，只是从侧面提供了重要的科学史资料，例如举例说明当时实际计算的运作程序。

施安的女儿希帕蒂娅（Hypatia of Alexandria，370—415）才华出众，她可能是历史上第一位女性哲学家和数学家，曾经协助乃父撰写评论，自己据说也作有多种数学评论，可惜都未流传。她在三十岁左右成为亚历山大的柏拉图学院院长，并且与守城的罗马总督友善，因此颇有声望，可谓城中学术界翘楚。不幸的是，基督教当时已经得势，而她的才学与声望恰恰激起了视哲学与科学为异端的基督徒之敌视与仇恨。态度有名激烈的大主教圣西里尔（St. Cyril）于412年上任，他与总督为了争夺亚历山大城控制权而积怨甚深，在此一触即发形势下希帕蒂娅于415年被杀害，一说是她驾马车经过大街时为暴民所凌辱和残杀。无论细节如何，希帕蒂娅之死对其他学者无疑是个驱逐信号和警告，同时也是学宫、科学和哲学在亚历山大城长达七百年传统宣告终结的象征。自此学者风流云散，这学术文化古都也就无可逆转地变为纯粹的商业都会了。

八、大时代的没落

历史学家吉朋是启蒙运动健将，他的巨著《罗马帝国衰亡史》所要论证的，就是此偌大帝国之衰亡肇因于基督教。在今日看来，这其中的因果关系自然难以断定。但从时序上看，则的确如此：在逐步接受基督教，乃至宗奉之为国教后，罗马帝国本身也就到日薄西山的阶段了。君士坦丁大帝在330年迁都位于博斯普鲁斯海峡的古城拜占庭（Byzantium，后来正式易名君士坦丁堡 Constantinople），其主要目的是为基督教建立一个没有众多异端神祇传统的新环境，以及加强对东方的控制。在这两方面他都非常成功，所始料不及的是，376—378年间日耳曼民族中的哥特人越过多瑙河向帝国东部大举内迁，触发了帝国崩溃的危机。大有作为的狄奥多

西大帝虽然以怀柔手段羁縻笼络这些蛮族，却也未能力挽狂澜。他临终时正式将帝国分割为东西两半，更加速了西罗马帝国的没落。410 年东哥特人攻破并洗劫罗马，其后时而受雇为佣兵，时而叛变作乱，至 476 年终于废黜西罗马傀儡皇帝，推选首领奥度瓦瑟（Odovacer）取代，但仍然承认东罗马皇帝主权，西罗马帝国至此灭亡，而在西欧所谓“黑暗时代”即其漫长的混乱过渡期（500—1000）亦告来临。另一方面，以君士坦丁堡为中心的东罗马帝国至终得以度过日耳曼蛮族入侵的危机而稳定下来。同时它在语言、风俗、文化上逐渐希腊化，由是得以保存大量古代典籍，成为古希腊哲学、科学渡过混乱时期的载筏。事实上，在其后千余年间，无论是 9 世纪的伊斯兰帝国，中古欧洲的翻译家，抑或文艺复兴时代乃至近代的古典学者，都莫不以君士坦丁堡为搜寻珍贵古希腊抄本的宝库，而迭有重大发现。

教会对俗世学术态度之转变

希帕蒂娅的命运凸显了科学与基督教的冲突，这类冲突在此后 1200 年间还将不时爆发，以迄著名的 17 世纪伽利略审判。然而，这两者之间的关系其实相当微妙、复杂，而并非一贯鲜明对立的：其实，在罗马帝国覆灭，长期混乱来临之后，教会反将成为科学渡过难关的庇护所。

基督教在其初三个世纪备受歧视和压迫，有时（例如在尼禄时期）甚至被严酷镇压，但它仍然能够持续发展，而且信徒日益增加，组织日趋严密。这水火不容之势到戴克里先（Diocletian，284—305）时代出现了激烈转变：他决定加强镇压基督徒但没有成效（303—305），跟着他的两位继承者作一百八十度转变，联合发布基督徒容忍令（311 年）。翌年君士坦丁大帝（Constantine the Great，312—337）在争夺皇位的决定性战争中改用基督教徽号并且大获全胜，遂又发布自由信教令，即所谓“米兰诏令”（The Edict of Milan，313）。其后他统一帝国，并陆续免除教士差役，准许教会承受遗产，禁止城市居民在星期日工作，更进一步禁止异教祭祀（319—321）。但狄奥多西大帝（Theodosius I，the Great，379—395）正式颁诏拆毁异教庙宇和严厉取缔异教崇拜，则已经是 392 年的事情了。这

样，在奋斗三四百年之后，基督教终于获得了“国教”地位，那比之伊斯兰教在一个世纪以内扩张成为庞大帝国是艰苦缓慢太多了。此后基督教会很自然地对其他宗教、哲学采取排斥态度。科学与此好像没有直接关系，但自然哲学是哲学的一部分，而哲学家们仍然怀抱古希腊宗教信仰和不时举行种种仪式和祭祀，因此他们往往在非理性动乱中受到波及，像希帕蒂娅遇害就是显著例子。至于基督教会本身则在此阶段还没有对俗世学术如希腊哲学形成明确态度，这一方面因为具有统一权威、组织的普世教会尚未出现；另一方面则由于当时具有影响力的教会思想家即所谓“教父”（Church Fathers）意见并不一致——事实上教父自己也往往受到这些历史悠久的学说影响，因此他们采取理性、温和、妥协态度的居多。

基督教早期教父最突出的有三位：迦太基的德尔图良（Tertullian，约155—220）、亚历山大的克里门（Clement，约150—215）及其弟子奥利金（Origen，约185—253）[①]，他们正当基督教《新约福音》大体已经定型而其他教义还在发展中的阶段。然而，他们对于“俗世学术”（secular learning）却有截然相反的看法。德尔图良本是律师，是第一个用拉丁文写作的教父，他有很强的原罪、救赎和正统观念，所以认为基督教代表“新律法”，一个人只有加入了自使徒开始，然后历代相传的教会才能够得救。他坚守信条，极端轻蔑理性和希腊学术，认为雅典无与于耶路撒冷，学园无与于教会；耶稣为神之子但其受死可信，正因为这荒谬；耶稣又肯定已经复活，正因为这不可能，等等。至于克里门却恰恰相反：他受新毕派学者费罗影响，又吸收了灵智教派的思想，然后通过学养深湛的弟子奥利金对东方教会发生广泛影响，这就是教父中的所谓亚历山大学派。他们认为：基督教信仰与通过理性而发展的希腊学术并无冲突，后者自有其内在价值，而且还可以导人心智趋向于接受神示真

① 有关早期教父对俗世学术态度的分析，见 Grant 1996，Ch. 1，此外 Walker 1959，pp. 64－66，72－77，116－118，160－170 也分别对于德尔图良、克里门、奥利金、巴西勒和奥古斯丁的事迹、思想有论述。

理，因此可以为神学所用，成为其“侍女”（handmaiden）。自此以后，这“侍女说”就普遍被视为俗世学术在基督教的定位，其影响一直延续到中世纪。

在此之后最重要的两位基督教学者、主教、神学家和身后封圣的教会领袖，是小亚细亚的巴西勒（Basil the Great，329—379）和北非的奥古斯丁（Saint Augustine，354—430），前者以志行高洁，魄力宏大见称，后者被公认为古代最伟大的基督教神学家。他们的共同点是，都经过相当曲折的生命历程才信奉基督教，而且在此历程中深受雅典新柏拉图学派影响，巴西勒更曾经在雅典就学。他们都跟随新毕派费罗的传统，撰写《旧约·创世记》评论，藉以宣扬上主创造天地之伟大与巧思。这是有震撼力与无穷发展潜力的传道途径，为后人所不断重复使用，因为它直接将教中的原始经典与大众熟悉的大千世界紧密联系起来。不过，这策略却需要对于自然哲学的了解，例如宇宙构造，日月星辰的运行，鸟兽虫鱼的习性，等等；甚至，它还牵涉到某些更深入的哲学问题，例如世界创造的先后过程，所使用的原始质料，乃至世界运作的原理，等等。这样，不知不觉间，也就使得自然哲学整体成为基督教体系的一部分了。很可能就是为此原因，奥古斯丁赞同甚至主张研习“七艺”包括科学——虽然他对于天文学（毋宁更应该说是星占学）却有保留。

另一方面，巴西勒和奥古斯丁也都意识到希腊哲学的危险性，因为它有许多基本观念与基督教的核心教义并不兼容。例如：在希腊观念中天地是恒久存在，无始无终，那就与神创造天地和世界末日之说相矛盾；又如星占学者和斯多葛学派都认为世界变化完全由客观条件（例如行星的准确位置）决定，那就间接否定了处于基督教伦理核心的人与神之自由意志。奥古斯丁在临终前数年终于对自己研习“七艺”的主张表示后悔，可能就是仔细权衡利弊之后的结果吧。但这个细微变化并不重要。真正重要的是，众多早期教父形成了这样一个整体观念：自然哲学自有其价值，而且和基督教并非完全对立，甚至可以为其所用。这一定位使得它能够以非常原始、粗糙的形式深藏在修道院中度过6—10世纪的大混乱时期，然后借着12世纪翻译运动的刺激重新发芽、滋长。

向雅典回归

在这迅速没落的大时代中，本来已经丧失动力的科学自然只能够竭力保存前代成果，再也谈不到开辟新领域。而且，从5世纪开始，由于亚历山大的敌对气氛，希腊学术只好向雅典回归，这主要是新柏拉图学派的普卢塔赫（Plutarch of Athens，350—430）所开创的传统。相传他曾经师从艾安布里喀斯（§6.6），但历史上比较能够确定的，只是自他以降的六代弟子依次为：著有亚里士多德《形而上学》评论的西里安纳斯（Syrianus，437去世），普洛克鲁斯（Proclus Lycius，400—460），马利安纳斯（Marianus），阿孟尼亚斯（Ammonias Hermias），达马修斯（Damascius，约458—538），以及辛普里修斯（Simplicius，490—560）。这其中最突出的是普洛克鲁斯，他最初求学于亚历山大，但不惬意，所以转而求教于雅典的普罗塔克和马利安纳斯，并且为他们所器重，得以继承后者成为学院院长。他最重要的著作无疑是《欧几里德〈几何原本〉第一卷评论》①。此书是初等几何学讲稿，它不但仔细评论了《原本》第一卷每个假设和命题，使得我们知道当时数学观念与教育的细节，而且还大量引用了尤德姆斯的《几何史》，赫伦、波菲利、泊布斯等三人的《原本》评论，以及詹明纳斯、阿波隆尼亚斯、托勒密、博斯多尼乌、西里安纳斯等许多前人的著作，从而保存了非常珍贵的数学史料，包括希腊数学早期的发展情况。此外普洛克鲁斯还著有一部介绍喜帕克斯和托勒密的天文学和一部评论柏拉图《国家篇》的著作。不过，他虽然以《几何原本》评论知名于科学史界，其实在哲学和神学上的著作分量要重得多，这包括《巴门尼德篇》评论、《论世界之永恒》、《论邪恶》、《柏拉图神学》等，但最重要的则是其《神学原理》②。他对于法力的基本观念和艾安布里喀斯相同，但更进一步以此观念将古代所有思想体系排列和整合起来，成为一个历史性系统，这日后对于文艺复兴时代新柏拉图派学者的哲学史和宗教史观有巨大影响。

---

① 此书英译本为 Proclus/Morrow 1970。

② Proclus/Dodds 1992.

达马修斯是新柏拉图派学院最后一位院长（520—529），他的学生辛普里修斯则是该派殿军，以其亚里士多德多种著作的详细评论知名①。在《论天》的评论中，他间接征引尤德姆斯的《天文学史》来说明尤多索斯的同心球面宇宙模型构造，在《物理学》评论中他则征引尤德姆斯的《数学史》来说明安梯芳求圆面积，以及希波克拉底求月牙形面积的方法。倘若不是这两个非常宝贵的长篇征引，那么这些很重要的公元前4世纪科学发展历史就难免湮没了。而且，这两部评论还保存了许多希腊早期哲学家诸如巴门尼德、恩培多克勒、阿那克萨戈拉等的残片。除此之外，他还著有一部《几何原本》评论。与辛普里修斯同时或者略早一些的，还有一位尤托斯乌（Eutocius of Ascalon，480—540），他著有阿基米德《论球体与圆柱体》、《圆之测度》、《论平面形体之平衡》等著作和阿波隆尼亚斯《圆锥曲线》开头四卷的评论，以及《大汇编》第一卷介绍，这些作品也保存了大量珍贵科学史料，特别是自柏拉图以至阿基塔斯和埃拉托色尼等一系列学者的倍立方问题资料。

帝国末期的编纂之学

与普洛克鲁斯和辛普里修斯同时以及在他们之后，还有一系列继承瓦罗和普林尼百科全书传统的罗马学者是不应该忽略的。他们以编纂大部头的拉丁文著作为主，这些作品虽然缺乏理论与思想深度，但由于显浅易明，容易吸收和应用，因此很适合黑暗时代和中古早期（约700—1100）一般学者、教士的需要，影响甚大，可以说是在12世纪翻译运动兴起之前塑造欧洲心灵的经典②。在5—6世纪间，这些学者最主要的有三位：在罗马西哥德朝廷任高职的麦克罗比乌（Macrobius，活跃于400—422）与卡西奥多鲁（Cassiodorus，480—570），前者以其《〈西庇阿之梦〉评述》知

---

① 辛普里修斯的亚里士多德和其他哲学家的评论已经在过去15年间（1992－2007）分为多卷，分别由 Cornell University Press（Ithaca，NY）及 Duckworth Publishers（London）出版，这包括亚里士多德的 *Categories*，*Physics*，*On the Heavens*，*On the Soul* 等著作的评论，以及 *On Theophrastus* 和其他评论。

② 以下几位罗马学者在 Stahl 1978，Ch. 10－11，14－15 有详细论述。

名，后者与波伊提乌（Boethius，见下文）同朝为官，而且同样位至宰相，但处身行事则更为小心谨慎，因此得以在手创的修道院终老——他的《论神圣与世俗典籍教育》（*Institutions of divine and secular learning*）就是为修士撰写的①。时代在他们之间的卡佩拉（Martianus Capella，活跃于410—439）则是北非迦太基的一位律师，以《语文与信使之结合》（*The Marriage of Philology and Mercury*）蜚声后世，此书模仿500年前瓦罗的《学术九书》而通俗浅易过之，因此更为流行，中古所谓“七艺”教育的内容，大多就是由之确定。

但到了6—8世纪，最重要的学者就都出现于外省教会了，其中名气和影响最大的是塞维尔主教伊西多尔（Isidore of Seville，570—626）以及英国修士拜德（Bede the Venerable，672—735）两位。伊西多尔的兄长令西哥德国王归化于罗马天主教，由是对西班牙此后命运产生决定性影响。他本人在而立之年接任主教，其后致力于发展古典学术，这在当时仍然对异端传统深怀疑忌的教会是极其难能可贵的。他所编纂的《词源》（*Etymologies*）长达20卷，共448章，是名副其实的一部庞大百科全书。此书只是抄袭剪辑之作，缺乏原创和观测资料，而且取舍有失精审，理解亦多谬误，但由于它包罗万有，保存了大量珍贵资料，其后千余年在学者间一直享有盛名，历久不衰。至于拜德则终生在今日都林（Durham）地方的贾罗（Jarrow）修道院埋首著述，以《英国教会史》（*The Ecclesiastical History of the English Nation*）一书被视为英国历史之父②。但对我们而言，更重要的自然是他为教士编写的简短教科书《论事物原委》（*On the Nature of Things*）。此书同样凭剪辑前人著作而成，其来源包括普林尼的《自然史》、伊西多尔的《词源》，以及后者另外一部同名作品等。但拜德的眼光、智力远过于伊西多尔，因此间中亦不乏独到观察与记载，例如有关潮汐的论述。到8—9世纪之交，查理曼大帝锐意建

---

① 《〈西庇阿之梦〉评述》与《论神圣与世俗典籍教育》的英译本，分别见Macrobius/Stahl 1952与Cassiodorus/Halporn 2004。

② 《词源》与《英国教会史》的英译本，分别见Isidore/Barney 2005与Bede/McClure & Collins 1994。

立学校系统，发展学术以求增强帝国力量，掀起了所谓“卡洛林文艺复兴”（Carolingian Renaissance）。此运动的主要人物是拜德的后辈，同样来自英国的教士阿尔昆（Alcuin，约 730—804）。在他主持下教堂学校纷纷建立，卡佩拉、伊西多尔以至拜德的著作广被传播、注释、引用，由是都发生了相当大影响[①]。

但这批后期拉丁学者著作虽丰，影响虽大，就学术水准而言，则比起同时代希腊学者例如辛普里修斯，或者罗马早期学者例如普林尼则仍然相差颇远。斯塔尔将之概括称为“繁琐与虚伪学术——文献抄袭以及可轻易消化的资料之滥为盗用，其来源或不注明，或出于假冒”，而从“罗马对于科学知识的态度以及接受方式，我们就可以窥见他们未能将希腊科学传递给西方世界的道理。这是个悲剧，更可以视为其文明的最大缺陷”。[②]这是严厉的批判，或者更应该说是控诉。这批判本身可能有道理，甚至很可能也的确触及了古代西方科学最终衰落的主要原因之一，然而，恐怕并不完全公平，因为它完全忽略了这批学者在学术上的继绝存亡之功，这对于欧洲中古科学的复兴是非常关键的。

学园末运与科学尾声

在希帕蒂娅之后百年，柏拉图学园和希腊科学的末运终于降临。东罗马帝国充满宗教热诚的大有为君主查士丁尼（Justinian I，527—565）登基后励精图治，首个措施就是在两年后（529）颁令关闭已经前后断断续续有 900 年历史的学园。院长达马修斯遂被迫带领辛普里修斯和其他五名学者投奔查士丁尼的对头，波斯萨桑皇朝的古斯鲁一世（King Chorsroes I）。其后不久帝国与波斯媾和，根据和议学院的这一行学者得以返回雅典定居，但讲学则非所允许了。巧合的是，在前此不久罗马最杰出的大学者波伊提乌（Boethius，480—524）为东哥德国王施奥多力（Theodoric）下令处决。波伊提乌出身罗马世家，其家族信奉基督教多年，本人则精通希腊

---

① Colish 1998，pp. 66 – 70 对此有简短论述。

② Stahl 1978，pp. 252，260。此书最后一章对于此问题有全面讨论。

文，深研柏拉图和亚里士多德哲学，曾发雄心要评论和翻译两位大师全部著作，可惜能够完成并且广为流传的只有亚里士多德的《范畴篇》、《解释篇》两种，以及波菲利的《范畴篇引论》和相关评论，这日后成为欧洲中古早期逻辑学和经院哲学的基础。至于《前后分析篇》、《论题篇》与《辨谬篇》等四种的翻译也可能由他初步完成，不过这并不确定，它们日后被重新发现的历史也异常复杂（§9.4）。除此之外，他还以欧几里德、托勒密和毕氏学派的著作以及尼高马可斯的《算术》为楷模，撰写了数种逻辑、算术、乐理、几何学教材，这些都非常流行，成为中古欧洲“四艺”的基础。根据卡西奥多鲁的书信，他大概还翻译过《几何原本》，但到什么程度则不确定，因为从书信的年代推测，他当时仅及弱冠，不像信中所说，已经能够完成此大业，而且后代并没有完整的译本流传，甚至有关记载亦全然阙如。虽然有学者根据多种在中世纪流传的手稿推测，他“很可能”曾经翻译全书，但即使如此，这译本也湮没无闻，未曾发生显著影响①。其初施奥多力仰慕罗马文化，所以波伊提乌被委以相当于丞相的高位，然而至终却被控以谋叛大罪，在系狱多年之后终于不免。这样，在哥德人治下的罗马，希腊学术传统的火炬也同告熄灭了②。

像希腊科学这样一个伟大传统的衰落自然有许多原因。其中一个说法是，到托勒密时代希腊科学的潜能已经发挥殆尽，其后它进入停滞乃至衰落是基于内在原因而无可避免的。但鉴于像赫伦、丢番图与泊布斯那样或者不拘囿于此传统，或者在此传统中仍然有创见的科学家之出现不绝如缕，此说恐怕难以成立，真正的原因毋宁应当求之于文化与政治大环境的转变。首先，如上一章所述，希腊哲学与科学虽然感染了罗马贵族，但只产生表面影响，而并没有激起深刻与全面的思想变化，像佛教在中国或者

---

① 有关波伊提乌《几何原本》翻译的考证与讨论，主要见 Folkerts 2003，VII，并参见 Folkerts 2006，II，IX。虽然这几篇论文考证綦详，但文中提到的手稿、抄本都只涉及《几何原本》的 1－5 卷和 11－13 卷，而且所占分量不多，因此作者也只能够说，“如现存样本显示，毫无疑问，最初五卷的部分属于（他的）翻译……这翻译必然是作于公元 500 年。而我们对（翻译）原文所知就只有这么多了。”

② 有关波伊提乌的时代、生平、学术，斯塔尔在 Stahl 1978，pp. 193－202 有详细论述。

基督教在欧洲那样。罗马帝国末期的抄袭、编纂之学，亦即斯塔尔所谓繁琐与虚伪之学就是其最佳写照。其次，在罗马帝国遥远、冷漠的统治下，希腊的重智精神缺乏激励、表扬，因而不复能够吸引、培养、激发第一流心智。第三，则是基督教因素。由于它在政治上经历了长期迫害，在思想上也一直处于弱势，因此成为国教之后其抗争性就演变为对异端包括哲学、科学的压制乃至直接的迫害。也许，众多教父对异端学术仍然是宽容的，希帕蒂娅遇害与柏拉图学园被关闭，只是教会极端而没有代表性的表现，而波伊提乌的学术轨迹也显示，基督教与希腊哲学可以在个别学者身上兼容不悖。但无可否认，一个受宗教意识宰制的新时代已经来临，在其中哲学最多是被容忍或者予以有限度之尊重，而不再可能激发自由聚集讲论，以其精深奥妙慑服聪明才智之士了。所以，文化土壤的变质才是西方古代科学衰落的最根本原因①。但毫无疑问，最后为它画上句号的，则是公元 6 世纪西欧政治秩序的全面崩溃。

---

① 克拉格提认为希腊科学在罗马时代说不上衰落，而是平稳，缺乏创新的延续，见 Clagett 1957，pp. 115 – 118，至于有关原因则与我们此处的观点大致相同，散见同书 Ch. 9，10。

附录：托勒密月运行模型之修订

为了解决月在上下弦位置的问题，托勒密提出“曲轴本轮”（epicycle on crankshaft）模型。它有两个要求：首先，在朔望点它的效应必须和本轮模型相同，以免影响已经证明有效的结果；其次，在上下弦位置它必须减低距角 δ。在这修正模型中，如图 7.14 所示，相对于固定的地球 T 而言，本轮中心 C 仍然是以固定角速度 ω_t 相对于日方向（其实是平均日方向）TS 旋转，但它与地球的距离 R = TC 却并非固定，而是由“曲轴”TEC 控制。曲轴上的“偏心”（eccentre）E 以地球 T 为中心，循半径为 e（这也称为偏心量 eccentricity）的圆形轨道，以固定角速度 ω_t 回转，但方向与 C 相反；曲轴长杆 EC 的长度固定为 R_1，它连接 E 和本轮中心 C，间接控制后者在 TCD 方向的位置，也就是地球与平均月 C 的距离 TC = R。这样不但在本轮上的月球有“异动”，即速度和距离的变动，本轮中心 C 也同样有“异动”，因此“平均月”C 虽然继续以固定角速度 ω_t 旋转，但它和地球的距离 R 却不再固定（参见图 7.4），这就是托勒密所谓的“第二异动”（second anomaly）。

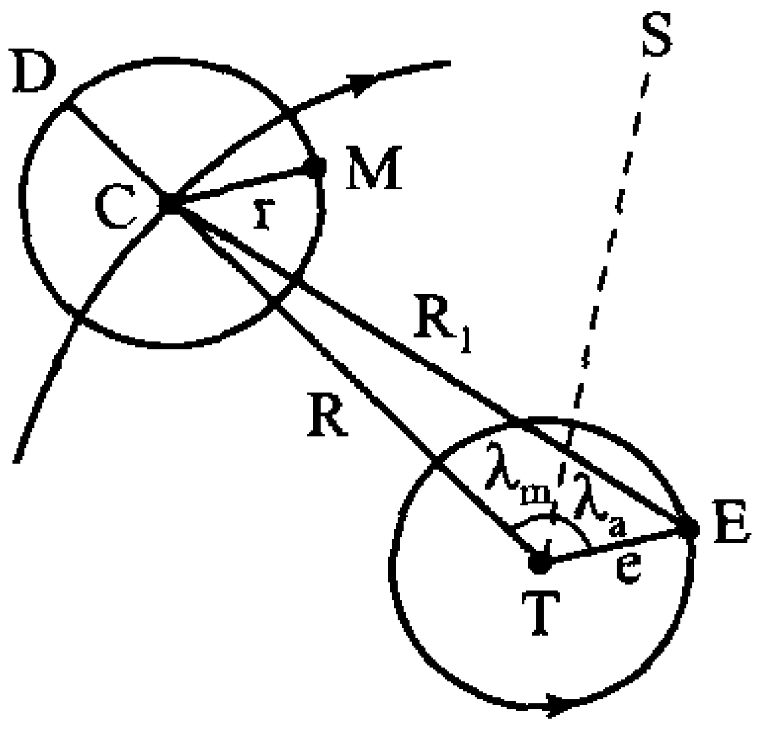


图 7.14　月运行的曲轴本轮模型

这模型显然符合上述的两个修改要求，因为在朔望点即 C 的日距角 φ 为 0 或者 180°的时候（此时 TCS 成直线）曲轴回复成直轴，长度为 $R_1 + e$，倘若令这等于平均月距离 R_0，那么此时它就与本轮模型相同（图 7.15a）；但在上下弦即 φ 为 90°或者 270°的时候（此时∠CTS

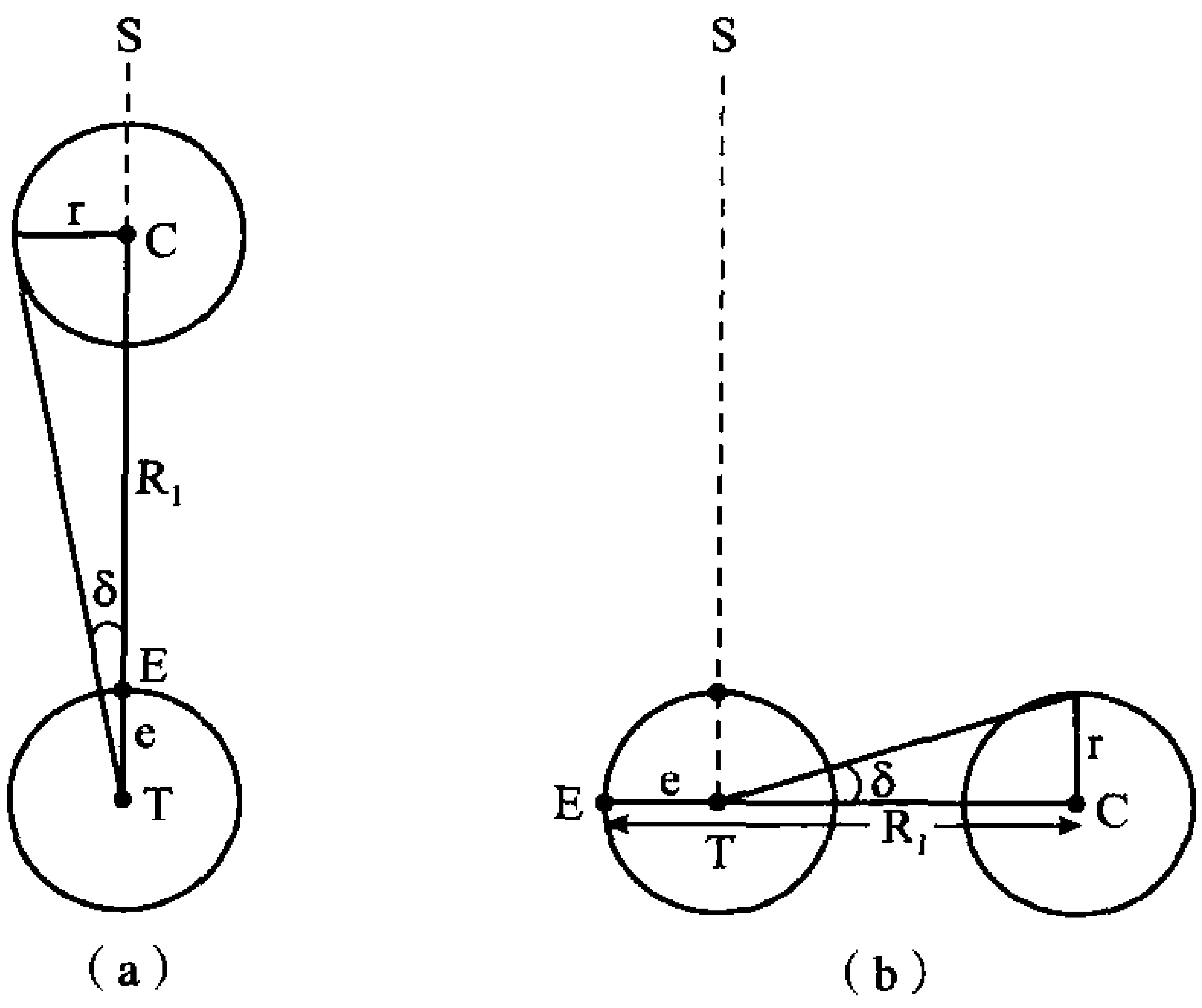


图 7.15　曲轴模型在（a）朔望时 $TC=R_1+e$；（b）上下弦时：$TC=R_1-e$

成直角）曲轴则折叠起来，令地球 T 与平均月 C 的距离 ρ 达到最小值 R_1-e，这显然有“拉近”本轮，也就是增大距角 δ 的作用（图 7.15b）。倘若保持本轮模型的 r 值不变，那么曲轴模型只增加了一个新的参数 e，它可以用下列条件来决定：在上下弦位置最大距角 δ_m 须达到 7.67°，即 $\sin\delta_m=r/(R_1-e)=0.133$。这结合原来已知的结果即 $r/(R_1+e)=0.0875$，就决定了 e 和平均月距 R_1，其结果是 $e/R_1\approx0.208$，亦即 $R_1=60$ 时 $e=12.5$。

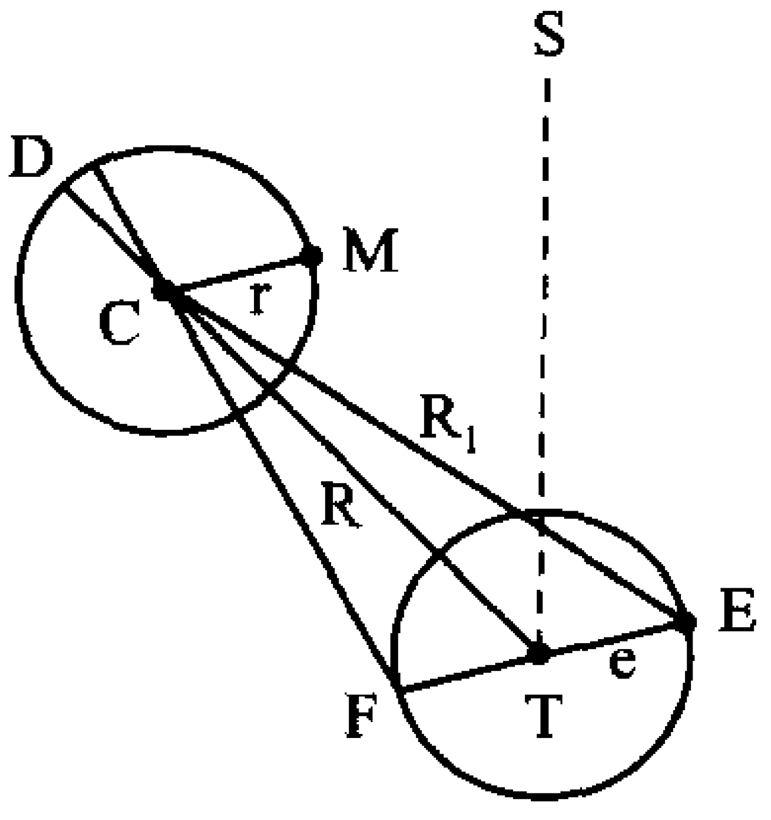


图 7.16　修正曲轴本轮模型

曲轴本轮模型虽然达到了要求，它却破坏了以均匀圆周运动的组合来摹拟天体运动这个基本原则，因为在此模型中 C 的轨迹不再是圆圈，而是一条主轴缓慢转动的腰形曲线，但托勒密并没有就此作任何解释或者讨论。此外，这模型仍然不是完全准确：托勒密发现，在所谓新月或者"八分"（octant）位置，即月的日距角为45°、135°等值时，曲轴本轮模型所算出来的距角 δ 仍然有相当大偏差。因此，他将此模型再作了一个细微而重要的修正：即在本轮上"真月"的角速度不再以"平均月"方向 TC 为参照，而是以曲轴中心 E 的"对径点"F 至平均月 C 的方向，即 FC 为参照（图7.16）。这样所得到的是"修正曲轴本轮模型"，它并不需要引入新构造或者参数，而现代研究显示，它所测算的月黄经值误差一般低于1.4°，这远比前两个模型为准确，所以也就成为托勒密最后的月运动模型了。根据他为此编制的数表以及程序，在接近千年间的月黄经值也和日位置一样，可以轻易推算出来。这一成就要到16世纪才为新一代天文学家所超越①。

① 以上两个修正模型见于《大汇编》卷五的1－9章；相关解释与讨论，见 Pedersen 1974, pp. 182－199。

第八章　伊斯兰世界的新科学

从公元6世纪开始，在汹涌而至的野蛮民族冲击下，欧洲陷入巨大混乱：大一统秩序崩溃，物质生活全面倒退，学术文化火炬熄灭，此前那么辉煌的科学传统也被遗忘。另一方面，从7世纪初开始，伊斯兰教兴起于阿拉伯半岛，在短短一个世纪间以狂飙激流之势席卷波斯、两河流域、巴勒斯坦，以至埃及、北非、西班牙这一横跨经度70°的长条地区，与西欧和东罗马帝国隔地中海相望，形成南北对峙之势。然而，绝对令人意想不到的是，从8世纪中叶开始，在多位开明君主鼓励与推动下，伊斯兰世界竟然张开双臂接受希腊哲学与科学，大量典籍从叙利亚文与希腊文翻译成阿拉伯文，许多阿拉伯与伊朗学者以巨大热情投入学术研究，他们由是接过火炬，促成伊斯兰科学的诞生。

然而，在西方科学发展史上，夹在古希腊与现代之间的伊斯兰科学到底有何意义，做出了何等长远的贡献呢？西方科学史家一度认为，它的真正意义仅在于保存大量古代典籍，其本身只不过是短暂插曲，是没有重要发明与创见的。经过上世纪许多学者的努力，现在这个观念已经被证明是完全错误，不能够成立的了①。事实上，伊斯兰科学不但足足有七百年历史（约750—1450），其长度与亚历山大科学等量齐观，而且在许多方面做出了原创性贡献，其中最显著和突出的包括代数学、三角学、光学、医学和炼金术等多方面。像柯洼列兹米（Khowarizmi）的《代数学》、海桑

① 例如，见 Rashed 1994，第49－56页有关代数学起源的讨论以及前代学者在这方面的态度。

(Alhazen)的《光学汇编》、阿维森纳(Avicenna)的《医典》、拉齐(Al-Razi)的《秘中之秘》,还有阿法拉(Aflah)的《大汇编纠误》、纳西尔图西(Nasir al-Tusi)的《天文学论集》等等,对于中古乃至文艺复兴欧洲科学都有难以估量的影响。更不可忽视的是,哥白尼天体运行模型的结构完全来自图西与沙提尔(Al-Shatir)对托勒密天文系统的批判与改进。随着大量阿拉伯文献的整理、翻译和深入研究,当今学者已经充分认识到,伊斯兰科学不只是古希腊科学的载筏,它本身也有丰富内涵与开创性贡献,是西方科学大传统中不可或缺的一环了①。

伊斯兰科学大致可以分为以下四个阶段:

(1) 8—10 世纪,巴格达:翻译运动;代数学研究;天文学在叙利亚初露端倪。

(2) 10—11 世纪,伊朗与中亚:医学、冶炼学、天文学、三角学。

(3) 11—12 世纪,埃及、北非和西班牙:光学、天文学、托勒密天文系统批判。

(4) 13—15 世纪,伊朗、中亚、大马士革:天文观测与理论发展;计算科学。

正如希腊科学一样,伊斯兰科学也并非生长、发展于固定环境,而是在巴格达、大马士革、伊朗、中亚、埃及、西班牙等具有共同文化背景,但政治上却多元分裂的广大范围中转移,这使得它在激烈的政局巨变中仍然能够找到生存和发展的空间。由于伊斯兰科学前后延绵达七个世纪之

---

① 相对于西方科学史而言,伊斯兰科学史的发展比较滞后,但自 1960 年代以来亦有不少通论性质著作问世。例如在哈佛大学受专业训练的德黑兰大学科学史教授纳斯尔著有《伊斯兰科学与文明》(Nasr 1968);加拿大西蒙弗雷泽大学的伯格伦著有《中古伊斯兰数学史纲》(Berggren 1986);原籍埃及的巴黎大学教授拉希德编纂了一部三卷本的《阿拉伯科学百科全书》(Rashed 1996),又著有《阿拉伯数学发展史论》(Rashed 1994);哥伦比亚大学的沙理巴著有《阿拉伯天文学史》(Saliba 1994),西班牙学者萨姆索则有《伊斯兰天文学与中古西班牙》(Samsó 1994),但最后两部著作属专业论文集性质。就个别伊斯兰科学家的事迹与工作而言,则 Gilliespie 主编的《科学传记辞典》(DSB)仍然是最权威与方便检索的著作。此外纪念肯尼迪这位伊斯兰天文学史家的论文集中重印了他本人的多篇重要综述,见 Kennedy 1983, pp. 3-47, 84-107。

久，其中所牵涉数十位科学家一般读者未必熟悉，因此我们依循上章办法，将重大事件和相关学者分列于下表，以提供整体鸟瞰，并方便检索。

表 8.1 伊斯兰学者一览表

年 代	伊拉克与叙利亚	伊朗与中亚	埃及、北非与西班牙
750—800 阿拔斯皇朝兴起；曼苏尔、拉昔	扎贝尔◇		
800—900 马孟 阿拉伯翻译运动兴起 “智慧宫”成为研究所（830）	哈扎△ 柯洼列兹米* 胡奈恩△ 萨比特△* 金迪# 穆萨兄弟* 法尔甘尼▽	拉齐◇	
900—1000 波斯文艺复兴	巴坦尼▽ 卡米尔* 卡拉吉* 法拉比#	阿布瓦法▽ 库希▽ 曼苏尔▽ 费耳道斯□	尤努斯▽
1000—1100 西班牙的乌美亚皇朝覆灭（1031） 托莱多数表（1069） 托莱多为基督徒收复（1085）		比伦尼▽ 阿维森纳#◇* 伽札利#	海桑▲* 翟晏尼▽* 札噶里▽
1100—1200 欧洲翻译运动兴起	善马洼*	奥玛开阳*	图费尔#▽ 阿法拉▽ 比特洛基▽ 阿威罗伊#
1200—1300 阿方索天文数表（1252—1270） 巴格达陷落于蒙古人（1258） 马拉噶天文台（1262—1275）		纳西尔图西▽#* 马格列比▽* 库图阿丁▽▲◇# 乌尔狄▽ 卡玛阿丁▲*	
1300—1450 兀鲁伯入主撒马尔罕（1409） 撒马尔罕学院成立（1420）	沙提尔▽	卡迪札达* 兀鲁伯▽* 卡西▽*	

* 数学家 #哲学家—神学家 ▽天文学家 △翻译家
◇医学家—冶金家 ▲光学家 □文学家

一、希腊文明的移植

希腊科学对邻近而且彼此渊源深厚的罗马世界未尝发生深刻影响，却能够移植到遥远、陌生的伊斯兰世界，在那里生根、发芽、成长，这自然显得非常吊诡和令人惊讶。不过，从文化背景看来，这也并非完全不可理解，因为表面上希腊科学与哲学移植于中东，是以公元750年开始的所谓“阿拉伯翻译运动”为起点。但在此之前希腊文明渗透、影响中东，其实已经有千年以上历史，前后经历了三个不同阶段：即公元前历时三个世纪的征服与统治，以及希腊学者在公元五六世纪两度流亡、迁徙到中东，在那里居留、讲学、生根和融入本地体制。这个文化辐射过程虽然或断或续，若隐若现，但其重要性是绝对不可忽视的。况且，除了这背景以外，希腊文明的移植也并非自发性现象，而还有其他更为直接的原因。以下我们就来讨论这两方面的因素。

三个阶段的文化铺垫

希腊文明（Hellenism）对东方的巨大冲击，开始于公元前4世纪末的亚历山大东征。它表面上是对波斯帝国多次入侵的响应与反击，其深层意义在于，当时希腊文明已经羽翼丰满，蓄势待发，因此有意向世界宣示和扩张本身卓越超凡的文化价值与体系。体现这一观念的具体措施，就是在大军所到之处大量建造“亚历山大城”（Alexandria），并且留兵屯驻，这样就使得希腊建筑、体制、生活方式遍布埃及、小亚细亚和西南亚。像这样一度名为“亚历山大”的中亚城市最重要的有两个：即今日土库曼斯坦梅理（Mary）附近的梅尔夫（Merv，Marw），它后来成为波斯东部广大呼罗珊（Khorasan）地区的中心；以及今日阿富汗北部的巴尔克（Balkh），它本来是古代拜火教的发源地，又一度成为佛教圣地。这两个偏远城市后来都曾经在伊斯兰科学史上发挥过重要作用。

当然，亚历山大东征只是开端而已，在随后三个世纪间，塞琉西（Selucid）王国的统治则为希腊文明的长时间辐射、渗透、生根创造政治

条件。这样，它在中东以至伊朗、阿富汗等西亚地区的宰制地位足足延续了三个世纪（公元前330—前30）之久，由是建立起无可比拟的影响与声望①。这和它之在罗马世界虽然颇受尊重，然而始终脱离不了被征服者文明的味道是迥然不同的。也许，这就是为什么罗马人绝少动念要将希腊典籍翻译成拉丁文，但阿拉伯翻译运动则甫经王室发动就如响斯应，风起云涌，历时两个世纪而犹未止息的深层原因吧。

不过，就伊斯兰世界而言，希腊统治已经是很遥远的历史了，最多只存在于模糊记忆的底层而已。翻译运动之成功还有更为切近、直接的背景，那就是流亡学者的媒介作用。希腊学者之所以会有不少人流亡到中东，基本上是由基督教的特性造成。首先，早期基督教对教义是非常坚定执著的，因此要求其解释高度准确和统一，不容些微异议或者反对声音；其次，它具有强大的排他性，因此对传统学术之精深与崇高声望深感疑忌与威胁，希帕蒂娅之死就出于这种敌对意识的爆发。在基督教成为国教之后，以上两种意识更转化为排斥一切异端的官方政策。但必须说明，在五六世纪间，施行此政策的是东罗马帝国，至于东哥特人统治下的罗马则在宗教和文化上仍然颇为宽容——事实上，当初君士坦丁大帝之所以要迁都拜占庭，重要原因之一就是有感于罗马的多神崇拜传统根深蒂固，牢不可破，因此要为基督教另觅可以专权与大事扩展的空间。至于罗马主教权力日增，以至蜕变为具有无上权威的“教皇”，则是后来的发展了。

希腊学者第一次流亡起源于430—450年间有关耶稣属性的教义争论，当时聂斯脱利教派（Nestorians）认定耶稣的本性为人而非神，这在以弗所宗教大会（Council of Ephesus，431）中被裁定为错误，因而在东罗马帝国成为异端，其领袖和跟随者被迫迁往叙利亚的艾德萨（Edessa）。但后来叙利亚发展出所谓基督一性论派（Monophysites），而且势力极为浩大，因此聂斯脱利派又与之发生冲突，于489年被迫离开罗马帝国，流亡

---

① 塞琉西王国与中东和波斯的希腊化有极其密切关系，但这是复杂问题，细节见 Peters 1972，Ch. 6。

到与罗马敌对的波斯帝国，在邻近艾德萨的尼斯比斯（Nisibis）定居下来①。他们在那里开设学院，除了宗教与神学以外，更教授哲学、医学，由是为希腊文化在当地的发展奠定基础，并且由于其中精于医术者累代成为宫庭御医，在政治上也逐渐获得影响力。

大半个世纪之后，查士丁尼大帝下令关闭柏拉图学园（529），园中学者达马修斯和辛普里修斯等被迫携带典籍赴波斯依附古斯鲁一世，这造成了第二次的学者流亡。不过，当时查士丁尼在军事上着意经营西方，在东方只能采取守势，不但被迫和古斯鲁言和，甚至屡屡纳贡亦在所不惜，因此辛普里修斯等在波斯逗留一两年后，就根据和议条款得以返回雅典（§7.8）。然而，所带去的生徒、典籍则可能都留下来，成为希腊文化的火种；其后不久，亚历山大城多名医学家又相继为波斯所延揽。这些远来学者都聚集于尼斯比斯和波斯西南部小城郡地沙普尔（Jundishapur），他们开设医学院（一说是神学院）和医院，讲学、研究、行医。这样，在五六世纪近两百年间（430—600），为了讲课授徒的需要，流亡到叙利亚和波斯的学者开始将希腊哲学、神学、医学、数学等经典翻译为当地通用的叙利亚文（Syriac）。通过他们的努力，希腊学术因而再次得以在东方传播和发扬②。

换而言之，在伊斯兰席卷中东之前不久，希腊流亡学者、教徒在叙利亚和伊朗定居、同化，并为本身需要而展开希腊文和叙利亚文之间的翻译工作，已经有百年以上历史了。

伊斯兰皇权的更迭

阿拉伯翻译运动出现于伊斯兰教兴起之后120年，那并非偶然，而是

---

① 有关基督教会在此时期的耶稣属性大论争，见 Walker 1959，pp. 131－145。

② Peters 1968 是论述希腊哲学特别是亚里士多德哲学如何传入叙利亚、波斯与阿拉伯世界，以及其在此东方世界发展经过的专著；至于 O'Leary 2001 则专门讨论希腊科学传入阿拉伯世界的历程，其侧重点在于早期历史，包括亚历山大后续帝国、聂斯脱利教派和埃及一性论教派，乃至阿富汗与印度对此传播历程的影响；此外 Peters 1973，Ch. 4，5 对于希腊科学的传播历程也有简要论述。

和政权更迭密切相关的。在穆罕默德死后 30 年出现的乌美亚皇朝（Umayyad Caliphate，661—750）以大马士革（Damascus）为首都，它在不到百年间征服了从西亚以至北非、西班牙广大地区，大体上确定了伊斯兰世界的版图①。但这只是武力征服而已，在空前迅速的扩张之中伊斯兰教的传播跟不上发展，即使在核心区域教徒数目也只占人口十分之一左右而已。更为严峻的是，统治这庞大新兴帝国的君主即哈里发（Caliph）尚未完全脱离沙漠游牧民族本色，文化上深受信奉东正教的叙利亚地区的希腊人影响，政治上则缺乏深思熟虑，推行以部族为本位的独裁和集权体制，这既与伊斯兰的平等思想相抵触，亦复激起被征服的众多民族强烈不满。在此情况下，来自伊朗东部呼罗珊地区的阿拔斯家族经过长期筹划和秘密联络各方之后发动政变，并且迅速获得成功，其后更以斩草除根的方式彻底消灭乌美亚族人势力，漏网者只能远走西班牙，默守一隅而已。这样，就出现了伊斯兰帝国第二个皇朝，即阿拔斯皇朝（Abassid Caliphate）。

阿拔斯家族长期盘踞具有久远希腊传统的梅尔夫，其最初数代哈里发都是在该地成长并且具有波斯血统，深受其思想、文化影响，所以政治上显得比前朝成熟、圆滑和深思熟虑得多。首代哈里发阿拔斯（Abu l-'Abbas，750—754）在位时日不多，继位的曼苏尔（Abu Jafar al-Mansur，754—775）方才是皇朝真正奠基者，他明智地将都城从大马士革迁往新建的巴格达。其时伊朗萨珊皇朝（Sassanid Dynasty，226—642）被伊斯兰帝国征服未久，政治典范犹存，因此新朝大量起用伊朗人，全面承受伊朗旧政权的统治观念、架构和官僚组织影响所及，甚至连文化、宗教也都从纯粹阿拉伯背景转为"波斯化"。它又吸取前车之鉴，对帝国内部众多族群、文化乃至宗教传统包括基督教各教派、犹太教、拜火教等等，都采取包容政

---

① 伊斯兰教诞生后的百余年间，从沙漠里面汹涌而出的阿拉伯大军忙于攻城掠地，所过之处摧残无可避免，然而他们对于所接触的高等文化基本上却还尊重和保护，甚至在宗教上也远比基督教宽容。例如，曾经有记载提到，亚历山大城于 641 年陷落于伊斯兰教徒后其大图书馆被焚毁，其实那是毫无根据而且迟至 13 世纪方才出现的传说，见第 106 页注。

策，以维持稳定与平衡为最高统治原则。这样，伊斯兰教开始全面和深入传播，由庞大官僚队伍控制的神权帝国由是得以建立，繁荣灿烂的所谓“鼎盛皇朝”（High Caliphate）时期终于来临①。

新皇朝的文化政策

乌美亚皇朝原都城在叙利亚的大马士革，所起用的文官、大臣以当地信奉东正教的希腊人为主，其文化观念深受东罗马帝国的正统基督教思想影响，对于古典希腊文明既深怀敌意亦复不屑一顾。在此背景下伊斯兰世界自无吸收、移植希腊文化的可能。阿拔斯皇朝则由于家族背景的缘故，无论政治、人材、文化都深受伊朗影响。例如，曼苏尔最为倚重的大臣是巴麦克家族的卡立德（Khalid ibn Barmak），像建造都城巴格达那样重大的事情就是由他建议和执行。这家族本来在前述巴尔克地区主持佛教寺院，后来西迁梅尔夫并改宗伊斯兰教，它在皇朝最初半个世纪可谓显贵一时：卡立德的儿子阿希亚（Ahya ibn Barmak）是第四代哈里发拉昔（Harun al-Rashid，786—809）登基之前的导师，后来登上相当于宰相的大总管（wazir，vezir）位置，孙子札法（Ja'far ibn Barmak）也承袭此位。他们在803—808年间一度为了不明白的原因而失势，但后来又恢复地位。此外，曼苏尔在765年初次因病召见聂斯脱利派的医生布泰伊苏（Jiris ibn Bukhtyishu'），他就是前面所提及郡地沙普尔医学院的院长，后来成为御医，与儿孙等一共三代始终受皇室尊宠，并且与巴麦克家族相友善。巴麦克家族、布泰伊苏家族以及来自梅尔夫的多位星占学家（他们参与了新都城建造时间和地点的选择）可以说是对阿拔斯皇朝文化观念影响最大、最深的几股力量。

翻译运动之所以能够顺利展开与前面讨论过的希腊文明在此地区之深厚铺垫有关，但这是个广泛的长期运动，它需要大量资源与政府上层稳定支持，因此不可能单纯出于历代哈里发的个人文化背景或者兴趣，而

① 拉皮德斯的《伊斯兰社会历史》（Lapidus 2002）是关于伊斯兰广大世界，包括其文化、历史、体制的一般参考书；有关伊斯兰教兴起的历史及其文化背景见 Peters 1973，Ch. 1－3。

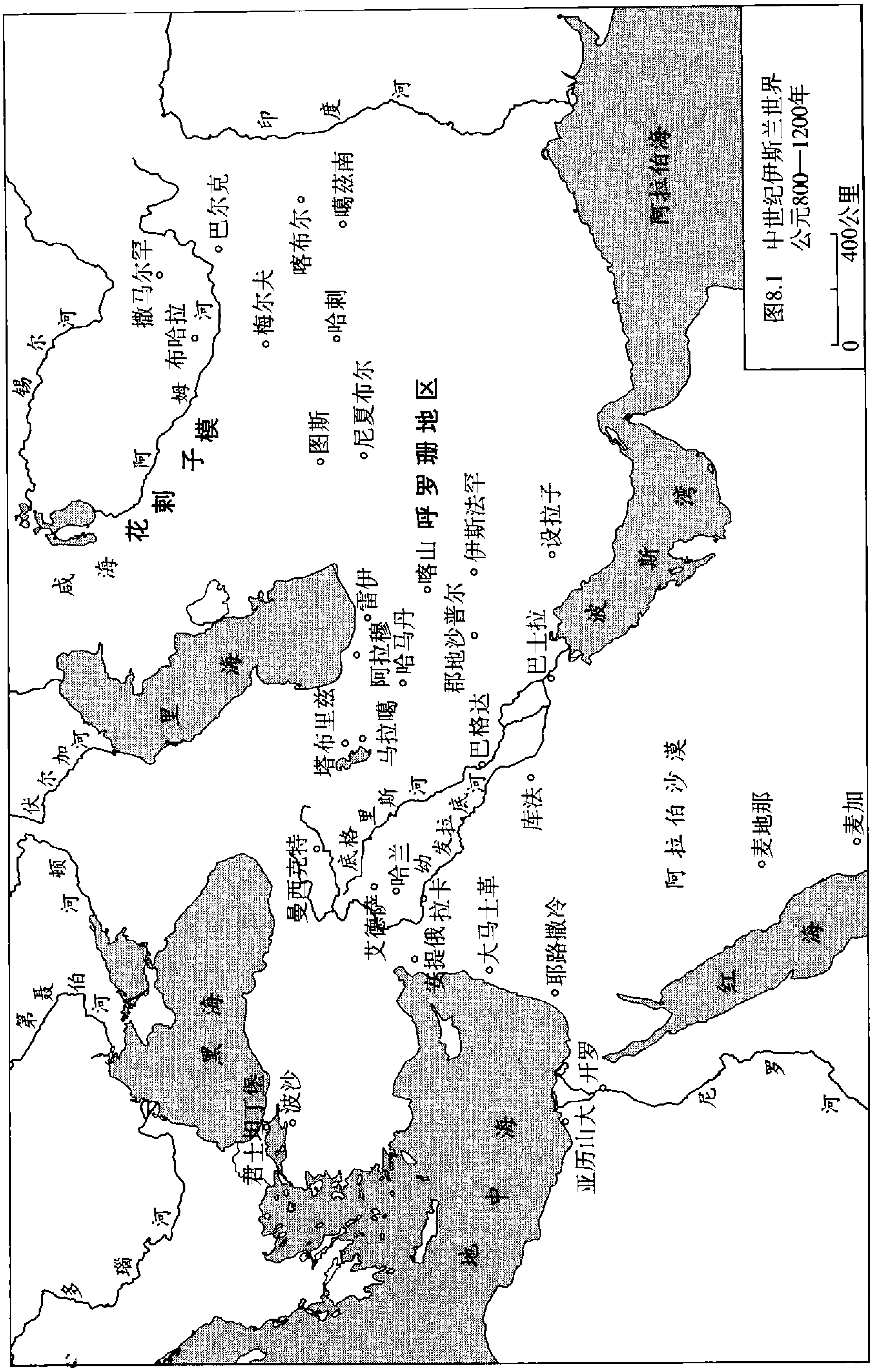


图8.1　中世纪伊斯兰世界
公元800—1200年

当有相当重要的现实政治意义在其中①。但这意义到底为何，却有各种不同观点。一说是最早推行运动的曼苏尔长期居住于梅尔夫，他深感阿拉伯人文化浅薄，故此以波斯萨珊皇朝继承者自居，以求稳定帝国基础。但萨珊皇朝自认为其源流出于古波斯帝国（Achaemenid Empire，约公元前550—前330），并着意宣扬以下文化史观：一切智慧、学术原本都出于拜火教始祖琐罗亚斯德（约公元前628—前551）得自神示的《阿维斯陀经》（*Avesta*），但这知识后来为亚历山大大帝以武力掠夺，并且通过翻译而藉以建立希腊文明，即使世界上其他民族的学术亦同样是由翻译而来；因此，将这些典籍重新翻译成波斯文是皇朝的特殊使命。这样，很可能阿拔斯皇朝的哈里发曼苏尔也同样企图通过翻译来建立阿拉伯学术，以提高伊斯兰帝国的文化地位与声望，和凝聚不同族群的人心②。

除此之外，希腊科学本身也与现实政治有着千丝万缕关系，这些同样可能成为翻译运动的动力。例如，在乌美亚皇朝时代引入的炼金术就曾经被认为与皇朝需要独立铸币，以取代拜占庭金币有关（见§8.5）；在曼苏尔为新都城巴格达选址的时候，星占学发生了决定性作用——事实上，星占学本身可以为政权提供正当性，而它是以天文学为基础的③；至于希腊医学的重要性以及历代君主对它倚赖之深，那就更不必多说了。甚至，希腊哲学也同样可以发挥现实作用：第三代哈里发马迪（Al-Mahdi，775—785）以宣称梦见亚里士多德的方式来表明他对于辩证法特别是《论题篇》的看重。这可能是因为当时帝国需要从武力镇压转向文化认同来维系人心，因此折服、消除伊斯兰内部教派的争辩成为急务，而辩证法对此可以起决定性作用。更何况，它的普遍应用后来还有重要后果，那就

---

① Gutas 1998 是分析与论述整个翻译运动政治与文化背景的专书，其见解相当深入与独特；O'Leary 2001，Ch. 11 – 12 对运动的背景也有讨论。

② 有关这部分的论证见 Gutas 1998，pp. 28 ~ 52；这段引文还提到，星占学也同样被用以论证皇朝气数转变，阿拔斯皇朝已经取代萨珊皇朝而占据当时上天众星宿所眷顾之位置这样的观点。不过，沙理巴则对此观点以及下列其他观点提出全面批判，见 Saliba 2007，pp. 3 – 49。

③ 关于此点见 Gutas 1998，pp. 45 ~ 52。

是刺激伊斯兰法理学即所谓"*fiqh*"的发展①。最后，还有从社会学角度出发的最新一种看法。它指出，帝国行政体制即所谓"Diwan"者，原本为精通希腊文和波斯文的官僚世家所垄断，但从乌美亚皇朝开始，这体制已经开始阿拉伯化，而那就是以其手册、典籍之翻译成阿拉伯文为开端；这一改变自然对大批具有特殊文化背景的官僚世家之独占地位构成严重威胁，他们的反应就是研习更先进、高深的希腊典籍，由是触发这方面的剧烈竞争，从而激活了整个希腊文明的移植②。

因此，整体而言，阿拉伯翻译运动之兴起不但是由于相当有利的文化背景，同时也存在各种具体诱因，但主要动力到底为何，却不那么容易确定：它很可能是一系列不同因素在相当长时期内交互影响、促进的结果。倘若要将之归于单一和非文化因素，那恐怕是很难成立的。在我们看来，对于新兴伊斯兰帝国的阿拉伯哈里发来说，在中东已经有上千年历史的希腊—波斯高等文化体系既有其本身的强大吸引力，亦复切合不同层次的各种实际需要，这是翻译运动的最根本动力。尚待探讨的，只是这些动力发生作用的具体方式、途径和历程而已。

二、阿拉伯翻译运动

以上一再提到的"阿拉伯翻译运动"，是指阿拔斯皇朝最初250年间（约750—1000），在哈里发与大臣赞助、推动下，将各种哲学与科学典籍从外文翻译成阿拉伯文的运动。这是个庞大、持久、复杂的过程，其复杂性最少有以下几方面：首先，不同时代的翻译可能有不同背景与原动力；

① 有关《论题篇》的重要性，见 Gutas 1998，pp. 61 - 74。不过，沙理巴则对上述各种观点（他所谓的古典叙事"classical narrative"）提出了全面批判，见 Saliba 2007，pp. 3 - 49。

② 见 Saliba 2007，Ch. 2。此说富于创意，但问题很多，其中最明显的是：既然原来的官僚世家是要保持其独占地位，那么他们应当是推动希腊科学、哲学，但绝不会愿意见到相关典籍翻译成阿拉伯文，也就是说，他们会对于翻译运动采取敌视态度，并且构成其巨大阻力。此外，他们如何能够说服君主政府日常运作需要这些玄妙高深的理论性学问？这不但难以找到解释，恐怕更难以切实论证。因此，在我们看来，这种观点只是假想和猜测而已。

其次，同一典籍可能被数度重译或者修订，而且来源文本不一，往往是从叙利亚文或者波斯文的译本再翻译成阿拉伯文；最后，原著的评注也被翻译，但译者往往在译文中加上未曾标明的解释、评注，结果成为夹叙夹议的复述。总体而言，此运动历时悠久，规模宏大，它实际上是希腊哲学与科学的全面移植，而且不久就激发了伊斯兰哲学和科学本身的发展，那是绝不会令人感到意外的①。

翻译运动早期

翻译运动从曼苏尔时代就已经开始了。他非常重视星占学和医学，因此连带对于天文学和数学感兴趣。在他的命令和赞助下，许多这方面的外语典籍翻译成阿拉伯文，相传这包括印度天文学著作 *Sindhind*（即 *Siddhanta*）以及《几何原本》、《大汇编》、尼高马可斯的《算术导论》等多部名著。这未必全然可信，而且在其初翻译水平恐怕也并不甚高，因此有许多典籍后来需要重译，但它们的源流已经无法细考了。在此之后，亚里士多德著作的翻译成为时尚：第三代哈里发马迪曾经郑重要求聂斯脱利派的教宗提摩太一世（Timothy I）负责将亚里士多德讨论辩证法的《论题篇》（*Topics*）从希腊文与叙利亚文本翻译成阿拉伯文，这大约是 782 年的事情。而且，他后来还在正式场合向提摩太求教耶稣基督以神而降生为人这包含悖论的教义。

第四代哈里发拉昔开始有系统地派遣使者到各地，包括东罗马帝国首都拜占庭以高价搜购手稿，已经有半个世纪历史的翻译运动因而逐渐进入高潮，亚里士多德的《物理学》连同它的许多希腊文评述就是在此时翻译成阿拉伯文。上文所提到的大臣札法非常热心于希腊科学，他意识到许多典籍，例如印度的 *Sindhind*，即使翻译之后也难以索解是由于基础知识不足，因此重新推动经典的翻译。但《几何原本》与《大汇编》由著名的哈扎（al-Hajjaj）译出，却已经是再下一代，即 820—830 年的事情了。

---

① 有关此运动过程的论述，见 Peters 1968，Ch. 3－4；Peters 1973，Ch. 4－5；以及 O'Leary 2001，Ch. 12。至于此运动的政治与社会背景之深入分析，则见 Gutas 1998。

运动的高潮

翻译运动达到高潮是在曼苏尔的曾孙马孟（Abd Allah al-Ma'mum，813—833）的时代。这一方面是由于前60年努力所奠定的基础——事实上，马孟自己就出生（786）并成长于翻译运动当中，可以说是此运动的产物。另一方面，这也和他的特殊政治经历密切相关：马孟本来是呼罗珊地区的藩镇，后来与继承哈里发的兄长兵戎相见，后者战败被弑，他由是得以登上大位，但仍然迟疑多年才终于因为内战不息而被迫离开根据地梅尔夫，到巴格达坐镇大局。因此他必须运用非常手段来巩固自己的政治合法性，故而强调：东罗马帝国因为信奉基督教而背弃古希腊文明，所以是落后与愚昧的，阿拔斯皇朝则有意识地全面吸收、发扬希腊学术，因此是先进、有远见的；他甚至还通过亲信将领宣扬自己与亚里士多德在梦中相会并讨论宗教判断准则。这样的政治姿态自然使得翻译运动成为公开国策，其社会影响可想而知①。

马孟很重要的一个措施是仿效亚历山大“学宫”体制，建立图书馆、天文台，以及在830年成立称为“智慧宫”（*Bayt al-Hikma*，House of Wisdom）的研究所，广为招揽学者参与翻译和学术工作。所谓“智慧宫”也者，本来只是宫中图书馆，它后来发展的详细情况并不很清楚，但曾经一度聚集大量学者在其中工作是极其可能的，至于是否发展成为具有固定体制的研究机构就有争议了②。马孟和“智慧宫”之所以在翻译运动中显得非常突出，甚至成为其象征，主要还是因为他在9世纪30年代前后所招揽的大批聪明俊秀之士，其中最著名的包括翻译家胡奈恩、数学家穆萨兄弟、哲学家金迪、代数学家柯洼列兹米等。这批有眼光、有才学的翻译家，同时也是有创见和独立思想的学者之出现，说明翻译运动和伊斯兰科学本身都已经达到了新阶段。

---

① 有关此部分的详细论证见 Gutas 1998，pp. 75 - 104。

② 多数学者认为“智慧宫”曾经发展成为有规模的研究机构，见 Peters 1968，p. 60 以及 O'Leary 2001，p. 166；但古塔斯认为它只是宫中图书馆，并没有任何证据显示它变为制度性的研究或者翻译机构，见 Gutas 1998，pp. 53 - 60。

胡奈恩（Hunayn ibn Ishaq，808—873）是阿拉伯裔医学家，累世为聂斯脱利派基督徒，到过亚历山大城，精通阿拉伯、叙利亚和希腊等三种语文，后来通过穆萨家族（Musa Brothers）见知于马孟等哈里发，成为宫庭翻译官和御医①。在他的主持下，他的儿子伊萨克（Ishaq ibn Hunayn，d. 910）、侄儿胡拜舒（Hubaysh ibn al-Hasan）以及其他学者组成了一支翻译队伍，通过分工合作，精细互校，以意译为主的方式，系统地把大量希腊典籍从原文翻成叙利亚文，然后再翻成阿拉伯文。由于他自己的学术背景，这自然以医学典籍为主，包括15种希波克拉底著作，约九十种盖伦（Galen）著作，但此外也还有许多柏拉图、亚里士多德作品和经典数学、天文学作品，包括《蒂迈欧篇》、《形而上学》、《论灵魂》、《物理学》、《几何原本》、《大汇编》，等等。至于在胡奈恩以外，最重要的翻译家是来自今日土耳其东南部哈兰（Harran）的天文学家萨比特（Thabit ibn Qurra，836—901）。他也同样精通叙、阿、希三语，翻译了欧几里德、阿基米德、阿波隆尼亚斯、托勒密等的许多作品，并且因此而为后世保存了许多原著失传的典籍②。

翻译运动一直延续到10世纪末期，在它长达两个半世纪历程中，有多个彼此相关的“典籍组”被相当全面和细致地搜罗、研究和翻译过，其中最突出的包括以下四组：（1）以胡奈恩为主的希波克拉底与盖伦医学著作；（2）以金迪（Al-Kindi）为主的亚里士多德《形而上学》与其他新柏拉图学派、新毕达哥拉斯学派著作；（3）与亚里士多德《工具论》（*Organon*）中六种逻辑著作相关的典籍；（4）与欧几里德以及托勒密著作相关的典籍。当然，这只是就其最主要方向而言，运动整体事实上覆盖了希腊（包括雅典、亚历山大和罗马时期）哲学、科学、医学典籍绝大部分，例如亚里士多德著作就已经被网罗无遗，唯一例外只是其《政治学》而已。当然，这样庞大、持久的文化移植运动不能完全依赖君主的

---

① 有关胡奈恩戏剧性的生平见 O'Leary 2001，pp. 164 - 170。

② 有关萨比特的生平见 O'Leary 2001，pp. 171 - 175，以及 DSB/Thabit ibn Qurra/Rosenfeld & Grigorian。

意志和资源——那只是早期现象，到了9世纪以后，它就逐渐变化成为社会上层的整体现象，举凡王公、贵族、官僚、学者、聪明才智之士都通过赞助、使用成果，或者直接参与而牵涉其中。这样，到了10—11世纪之间，翻译运动才终于消沉下来，因为学者的注意力已经转向原创性研究的成果了。

早期的学术继承

和翻译运动同时兴起的伊斯兰学术以继承希腊哲学和几何学为主。这很自然，因为在希腊传统中科学是哲学的一部分，而在翻译运动中哲学可能显得更重要，因为如上所述，它与宗教论辩有密切关系，而且在引进之后又刺激了伊斯兰哲学（*falsafa*）和神学（*kalam*）的发展；至于几何学的重要性则毋庸多说了。

伊斯兰最重要的两位早期哲学家是金迪（Al-Kindi，801—873）和法拉比（Al-Farabi，约870—950）。金迪来自伊拉克南部政治文化重镇库法（Kufah）的统治家族，可谓系出名门。他才大如海，精研柏拉图、亚里士多德和新柏拉图学派哲学，对于算术、几何、天文亦无所不窥，而且著作等身，所以被视为阿拉伯第一位重要哲学家。他与马孟哈里发的“正统运动”（见以下§8.10）关系密切，本人很可能就是极度崇扬理性的所谓穆泰齐拉教派（Mutazilites）一分子，并且因此受到迫害。比他晚两代以上的法拉比属波斯或者土耳其血统，大约在901年到巴格达，师从直接来自亚历山大的三位哲学教师，自己也培养了不少门弟子。法拉比深究亚里士多德，但思想上则以新柏拉图学派为依归。这两位哲学家都服膺“大宗师”（the Teacher，即亚里士多德）的理性主义，公开认为哲学与宗教各有不同领域，前者一凭理性而后者依赖神示（revelation），但是两者地位和重要性相当。而且，金迪尤致力于两者的融会，法拉比则认为宗教可以因民族而异，哲学却是独特的。诸如阿维森纳和阿威罗伊等名震一时的后期哲学家都是深受他们影响的后辈了。

伊斯兰早期数学家之中穆萨兄弟最富传奇色彩。他们的父亲本是大盗，后来改邪归正，研习科学天文，从而与皇子马孟交好。马孟登基之后

更将他们三兄弟即穆罕默德（Muhammad ibn Musa，800—873）、艾哈迈德（Ahmad ibn Musa，805—873）和哈桑（al-Hasan ibn Musa，810—873）视同己出，延聘良师教育成人。智慧宫转变为研究所的时候，他们很自然地首先受聘，而且由于与哈里发亲近，所以势力庞大，颇令同僚侧目。例如胡奈恩和下文提到的法尔甘尼都和他们深相结好，萨比特是他们所引进的门生，而世家子弟金迪则颇受嫉妒和排挤。他们都致力于几何学，最重要的著作是《平面与球面形体测度》，那在内涵上和阿基米德的同类著作并无二致，但在“归谬法”的应用上却有微妙的策略性区别：阿基米德将此法应用于个别问题，他们则以之证明了一条普遍（有关曲线所包围面积的）定理，然后应用于不同问题，这无疑更接近于现代数学精神。此外他们对于何种“量”可以以算术方法运算，也显示了比希腊数学开放得多的态度。

翻译家萨比特在数学上亦卓有成就：他发现了一条有关“友善数”（amicable number）的重要定理①；又像泊布斯一样推广了毕达哥拉斯定理；此外还求得抛物线截面面积和抛物面截体体积，讨论了三分角问题和数字幻方（magic square）问题，并且在天文学上提出了大胆的（可惜是错误的）新假设，例如黄道的进动是双向而非单向的。不过，9 世纪伊斯兰学者虽然能够吸收和应用希腊几何学，并且不乏增益和改进，但重大突破则在其他领域。这当是因为希腊几何学已经高度发展，要开拓崭新领域实非易事。因此金迪主要致力于希腊数学不足之处：计算方法、印度数目记法，等等。就几何学而言，伊斯兰数学家的真正重要贡献在于平行公理的研究：从金迪以至海桑、阿维森纳、奥玛开阳、图西（Tusi）都莫不致力于此问题。图西的观点后来被 17 世纪英国数学家沃利斯（Wallis）翻译，从而触发锡克利（Giovanni Sacherri，1667—1733）在这方面的开创性研究。

---

① 令 P(a) 等于整数 a 所有因子之和，那么倘若 P(a) = a，则 a 是完整数（perfect number）。例如6 有 1，2，3 等三个因子，而 6 = 1 + 2 + 3，所以 6 是完整数。倘若 P(a) = b，而 P(b) = a，则 a，b 互为友善数（amicable number），例如 P(220) = 284，P(284) = 220，所以 220 和 284 互为友善数。萨比特的定理是：倘若 p，q，r 为素数并且具有下列形式：$p = 3 \cdot 2^{n-1}$，$q = 3 \cdot 2^{n-1} - 1$，$r = 9 \cdot 2^{n-1} - 1$，则 $2^n pq$ 和 $2^n r$ 互为友善数。

三、新科学前缘：代数学

代数学是伊斯兰科学最为人熟知，也最重要的成就之一。它在9世纪“智慧宫”成立之初就已经出现，其后持续发展三四百年之久，可以说是伊斯兰最主要的科学传统①。

代数学之父柯洼列兹米

这传统第一位最著名的人物是被称为“代数学之父”的柯洼列兹米(al-Khwarizmi，780—850)②。他是中亚或者巴格达附近的人，生平不详，在智慧宫成立之初就被马孟招揽参加翻译工作。他知名是因为 *Hisab al-jabr w'al-muqabala*这部本为发展实用计算程序的专著，其名称的原意是“完成与平衡（计算）之书”③。这部书的基本重要性在于它为所有计算确立了“数”和“计算程序”这两个抽象观念，也就是撇开了长度、体积、重量等量度单位，以及个别问题对于计算程序所带来的观念混淆。更具体地说，此书虽然没有像丢番图那样应用符号，而还是应用文字叙述，却提出了许多代数学的抽象观念和运作程序，包括（1）未知数及其平方的观念和名称；（2）方程式的观念，即是由一或多个不同“项”集合而成的数式等于另外一个类似的数式；（3）“移项”的观念，即是将数式中需要减去的项（亦即负项）移到方程式另外一边而将之变为相加(即正项)：书名中的“*al-jabr*”（完成之意）所指就是“移项”，而这也就是代数学“algebra”名称的由来；（4）“消项”的观念，即是将方程式两边相同的项消除：书名中的“*al-muqabala*”（平衡之意）所指就是“消项”；（5）相乘数式如（a + bx）（c + dx）的列项和化简；（6）最后，它将应用问题系统地归纳为六个类型的线性和二次方程式，并给出解决程序。

---

① 拉希德的《阿拉伯数学发展史论》与伯格伦的《中古伊斯兰数学史纲》是这方面的主要著作，分别见 Rashed 1994 及 Berggren1986，后者亦论及三角学。

② 有关柯洼列兹米及其《代数学》，见 DSB/Al-Khwarizmi/Toomer。

③ 此书有下列拉丁文及英文译本：Khuwarizmi/Karpinski 1915。

柯洼列兹米在解二次方程式的时候除了应用数式以外，还用类似于《几何原本》的图解方法，因此在西方科学史界他的地位曾经有些争议。但对于绝大多数学者来说，他作为“代数学之父”的地位是公认的；更何况，《几何原本》图解法本身就极其可能源自古巴比伦（§5.2）。除代数学之外，他同样重要的贡献是在另外一部算术著作中将阿拉伯数字和印度传入的十进制位置记数法结合，并且首先引进“零”的观念和使用“0”这个符号，从而产生了今日通用的简明阿拉伯记数法。其实，柯洼列兹米才大如海：在代数和算术以外，他还有众多其他著作，包括一部天文学，这主要是承接印度传统，但也受《大汇编》影响；两部与星盘有关的著作，以及一部仿效托勒密同名作品的《地理学》，其中列出了2402个地点的经纬度，并提供了大量地理描述和地图，其中有关中东的部分要比托勒密所记录的更为准确。

代数学从何而来

柯洼列兹米并非巴格达唯一的计算学家：和他同时或者稍早还有另一位学者图尔克（abd-al Hamid ibn-Turk，活跃于830），他留下了一篇《混合方程的必然性》（“The Logical Necessities of Mixed Equations”），那是另外一部同样名为 *Al-jabr wa'lmuqabala* 的书其中一章，内容与柯洼列兹米的系统计算方法大同小异。因此，很有可能代数学的雏形从8世纪开始就已经在巴格达酝酿，柯洼列兹米的著作和《几何原本》一样，是集大成而未必是原创之作。从此观点看来，伊斯兰数学虽然以翻译希腊典籍为开端，然而也自有民间传统，即是以“数”为主的计算型数学，那甚至很有可能是巴比伦远古传统的延续——巴格达邻近古巴比伦，两地距离还不到100公里。

事实上，这个说法并非纯属猜测。海鲁普经过详细分析和研究柯洼列兹米、图尔克、萨比特、卡米尔（Kamil）、阿布瓦法等五位伊斯兰学者的数学著作之后指出，在伊斯兰兴起之前中东就已经流传着两类所谓“次科学”（subscientific）传统：即民间的商业、测量、建筑实用型计算法则；以及与古希腊数学相关，但不如《几何原本》或者《大汇编》那么庞大、严格，而是倾向于实用的几何著作。此说是由细阅巴克尔

（Abu Bakr）的《测量书》（*Liber mensurationum*）所触发：此书只有中古拉丁文译本传世，但它清楚地显示出，中东的民间计算法则与古巴比伦的“几何剪贴法”代数学（§1.4）如出一辙，其直接传承关系是毫无疑问的。从而可以推断，上述两种民间传统很早就已经根深蒂固，而且融合成为一体，柯洼列兹米和图尔克只不过是在希腊数学大传统的刺激下将之进一步发扬①。从此观点看来，西方数学实在应该视为中东与希腊两个传统在长期发展中屡次相互刺激与融合的产物：欧几里德、丢番图与柯洼列兹米虽然前后相隔千年以上，但他们的代数学（参见表5.1与§7.7）却都属于可以追溯到古巴比伦的同一个传统。

代数学的发扬

在柯洼列兹米之后，发扬代数学的至少还有四五位重要的伊斯兰数学家。第一位是半个世纪之后来自埃及的卡米尔（Abu Kamil，约850—930）。他的《代数书》（*The Book on Algebra*）自觉地继承了柯洼列兹米——事实上是后者作品的评述和发展，并且将代数方法应用于几何学，特别是正五边形和正十边形问题②。此书的一个重要进步是发展了未知数高次幂的特殊观念和记法，例如“平方—平方—根”指 x^5，“平方—平方—平方—平方”指 x^8，等等，那也就是说，有了 $x^m x^n = x^{m+n}$ 的意识。此书不但影响下面立刻就要讨论的卡拉吉，甚至也影响了中古数学家费邦那奇（Fibonacci），乃至西欧数学整体。除了代数学之外，卡米尔对于不定方程式也有研究，而且这是在丢番图著作广为流传于中东之前，所以是独立发现。

卡拉吉（Al-Karaji，Al-Karkhi，953—1029）来自伊朗或者巴格达附近，但在巴格达度过大半生，而且两部著作也是在那里完成③。卡拉吉的幸运是他不但承受巴格达将近两个世纪的数学传统，而且也见到丢番图

① 此说详见 Høyrup 1994，pp. 91 - 104，311n. 39。

② 此书有下列英文与希伯来文对照本：Kamil/Levey 1966。此英译本为 Levey 自 Mordecai Finzi 之希伯来文本译出，而非自阿拉伯原本译出，因为前者较完整和完善。

③ 有关卡拉吉，见 DSB/Al-Karaji/Rashed。

《算术》前五卷，那是870年左右翻译成阿拉伯文的，因此得以再往前跨进一大步。他的主要贡献在于大大推进多项式的运算，从而令代数完全脱离几何观念与方法。这包括（1）明确定义 x^n（$n=1, 2, 3, \cdots; -1, -2, -3, \cdots$）以及提出单项式的四则运算，包括 $x^m x^n = x^{m+n}$，但很不幸他未能用推理得到 $x^0=1$ 这最后一步；（2）定义多项式并显示多项式之间的加、减、乘法，以及如何以单项式除多项式；（3）归纳推理法的实际应用（但还不是严格论证）；（4）显示如何求得二项展开系数（binomial expansion coefficient）至5次方——这工作在他本人著作中已经失传，只是由于12世纪的善马洼（Samawal）加以引述，我们才得以知道。除此之外，卡拉吉还发现了许多级数求和公式，包括相当于下列现代公式的结果：$\sum n = n(n+1)/2; \sum n^2 = \sum n + \sum n(n-1); \sum n^3 = (\sum n)^2$（$\sum n$ 定义为自然数从1相加至 n，即 $1+2+3+\cdots+n$，余类推）。

诗人数学家

跟着卡拉吉出现的，是历史上恐怕绝无仅有，能够集浪漫诗人与理性数学家于一身的传奇人物奥玛开阳（Omar Khayyam, Umar Al-Khayyami, 1048－1131）①。他出生于波斯西北角上的古城尼沙布尔（Nishapur）。当时塞尔柱土耳其人（Seljuk Turks）正横扫中亚和波斯，建立庞大帝国，而位于丝绸之路上中转点的尼沙布尔则是其初期首都和商贸、文化中心。奥玛开阳虽然出身于制造帐篷的低下家庭，但自幼聪慧过人，因而得以研习哲学，后来更见知于一位法官，在弱冠之年赴中亚枢纽都会撒马尔罕，在那里潜心著作，完成他的传世之作《代数问题示要》（*Treatise on the Demonstration of Problems of Algebra*）。数年后，他蒙帝国的沙皇马利克（Malik-Shah）召至伊斯法罕参加筹建天文台，自此转向天文和历法工作将近二十年，其后再一次跟随新王迁移到北部的新都和文化中心梅尔夫，最后回到尼沙布尔终老。他最出名的是《四行诗集》（*Rubaiyat*），一般译作《鲁拜集》。

---

① 有关奥玛开阳，见 DSB/Khayyam/Youschkevitch & Rosenfeld; Berggren 1986, pp. 12－15, 118－124；至于 Nasr 1968, pp. 160－167 则有其传略以及其《代数学》部分的翻译。

奥玛开阳的代数学贡献主要是在三次方程式的系统研究。这是从某些几何问题的研究引发（例如“求直角三角形，其斜边等于一边与直角顶点至斜边高之和”导致 $x^3+2x=1+2x^2$，其中 x 是两边的比值），而充分利用了此前所累积的代数学方法。他不但将三次方程加以系统分类，并且指出：由于它们涉及立方项，所以不能够以直尺圆规方法解决，而需要用两条圆锥曲线的相交点来解决，这是前人（即希腊人）所未曾研究的。他的圆锥曲线解法用现代数学可以很简单地解释为：将普遍三次方程 $x^3+ax^2+bx+c=0$ 通过 $2py=x^2$（这是抛物线）的替换，而得到 $2py(a+x)+bx+c=0$（这是双曲线），因此其解可以从抛物线和双曲线的交点得到——事实上，他更进一步利用三角学方法得到上述有具体系数的三次方程之近似解。除此之外，他发现三次方程可以有两个（但还不是三个）不同解，并且认为将来它有希望利用算术（即代数）而不再是几何方法来解决。奥玛开阳的方法和思想都是伊斯兰重“数”传统的产物，他甚至进一步说：“代数和几何虽然表面上不相同，但这没有关系：代数是已经证明的几何事实。”① 其实，他的三次方程解法已经具有后世解析几何学的意味了。

巴格达最后的重要科学家

至于紧跟奥玛开阳出现的善马洼（Al-Samaw'al，1130—1180）则出身于从摩洛哥迁居巴格达的犹太家庭，自己后来改奉伊斯兰教②。他很可能是巴格达最后一位重要科学家，因为从 10 世纪中叶开始，巴格达虽然名义上还是阿拔斯皇朝首都，实际上已经为伊朗布伊德（Buyid，即 Buwayhid）族人所建立的政权控制。从 11 世纪中叶开始，塞尔柱土耳其人又入主巴格达；最后，到了 1258 年，这作为《天方夜谭》故事背景的神奇都城更为蒙古人所大肆焚烧、屠掠，自此完全残破衰落，一蹶不振。虽然这几个政权的统治者都沿袭阿拔斯传统，仍然热心支持学术，特别是天文学发展，不过科学发展的中心则很自然地转移到别处去了。

---

① 见 Boyer 1985，p. 265，n. 13，引 A. R. Amir-Moez，“A Paper of Omar Khayyam”。

② 关于善马洼，见 DSB/Al-Sanaw'al/Anbouba。

善马洼的工作同样依循此前三百年的代数学传统发展，他所留下的著作 *al-Bahir* 共四卷，前两卷的精神在于将所有算术运算方法都应用到代数的单项式和多项式上。这在最基本的层次是从有关负数的一切运算（即正负相乘，负负相乘除，0 减负数或正数，等等）开始，继而涉及多项式的定义、两个多项式的加减乘除，乃至求多项式的方根，等等。此外他还第一次求得了 $\sum n^2 = n(n+1)(2n+1)/6$ 这比较困难的级数和公式。至于讨论无理数的第三卷则并没有超越《几何原本》第十卷。该书最后一卷讨论一个巨大，有 10 个未知数和 210 条方程式的方程组问题。善马洼的时代比柯洼列兹米晚 350 年，而介乎中古欧洲第一位翻译家阿德拉和第一位数学家费邦那奇之间，那已经是代数学通过起源于西班牙的拉丁翻译运动向欧洲传播的时期了。但此时伊斯兰计算学传统还远远未曾结束，它将一直延续到三百年之后的卡西（al-Kashi），他与维也纳第一代天文学家格蒙登（Gmunden）以及佛罗伦萨座堂建筑师、发明透视法的布鲁内莱斯基（Brunelleschi）是同时代人物。

四、天文学的发扬与创新

《大汇编》令伊斯兰学者深为震惊和拜服，因此伊斯兰天文学家在第九世纪的工作主要是消化与继承此一巨著；在随后两百年，即 10—11 世纪间，则一方面发展三角学成为独立学科，另一方面质疑托勒密的基本假设，并开始新观念的探索，这些都对于欧洲天文学发生了重要影响。而且，即使到了 12—15 世纪的 300 年间，伊斯兰天文学也仍然在发展、创新，它的观念与技术也更臻成熟，其中一个重要成果甚且直接影响了哥白尼①。

《大汇编》的继承

在伊斯兰天文学家之中，我们首先要提到法尔甘尼（Al-Farghani，活跃

① 西方学界对伊斯兰天文学有极其全面和细致的研究，见 Kennedy et al 1983；Goldstein 1985；King 1993；Saliba 1994；Samsó 1994 诸书。

于860)。他在伊斯兰世界和中古欧洲都享有盛名，主要因为《大汇编》过于繁复艰深，他为之撰写的简介本《天文学原理》(*Elements of Astronomy*)只应用很少数学，所以适合教学和一般学者需要。此书后来为吉拉德翻译成拉丁文，因而风行欧洲，至1537年还与巴坦尼的《天体运动》译本（见下文）以及拉哲蒙坦那的演讲稿合集出版。

至于伊斯兰天文学第一位大师则无疑是巴坦尼（Al-Battani，Albategnius，850—929)①。他和萨比特一样，也是哈兰地方人，但他并没有为巴格达所吸引，而终身留在叙利亚西北角的安提俄（Antioch）和北方的拉卡（Ar Raqqah）进行天文观测，前后达40年之久（877—918)②。这长期工作的成果写成了共57章的《天体运动》(*Kitab al-Zij*，*The Motion of the Stars*)，它于1116年翻译成拉丁文，1537年印刷出版。此书大体仍然以《大汇编》为典范，但其中的观测数据非常精确，甚至有过于托勒密，同时方法上也不再依循几何模型，而更多采用三角学方法。例如，他将回归年的长度重新厘定为365日5小时48分24秒，改正黄道进动率为每世纪54.5″，订定地轴与黄道面的倾角为23°35′，重新制定489颗星的星表，等等，都是很重要的改进。此外他更发现日的远地点并非固定，而是有改变的，因此日环蚀可能出现。此书的精深在中古早期还未能为欧洲学者认识，到16世纪欧洲天文学趋于成熟，它才日益为哥白尼、第谷、开普勒、伽利略等大家所重视和经常征引。

三角学与星盘的发展

托勒密在《大汇编》的计算方法非常繁复，这主要是因为他所沿袭的曼尼劳斯球面三角学十分粗略简单：它基本上只有一个“弦函数”和一条基本定理。但伊斯兰学者喜爱和擅长计算，所以三角学到了他们手里就变得更为丰富和灵巧。这可能开始于萨比特以印度传入的正弦函数

---

① 见 DSB/Al-Battani/Hartner。

② 土耳其安卡拉大学科学史家萨伊利所著的《伊斯兰天文台史》即 Sayili 1981 对阿拉伯、伊朗以至奥图曼的天文学观测史有深入论述，我们在这方面的资料多本此。有关巴坦尼在拉卡的观测工作见该书第96－98页。

（sine function）替代弦函数，也就是将计算基础从圆形转移到三角形上去。其后，巴坦尼应用相当于正切（tangent）函数公式来表达直角三角形两（非斜）边关系。但决定性发展则要归功于他们之后的阿布瓦法（Abu'l-Wafa，940—998），他在有关月球运动的著作中定义了正切函数，并且编制高度精确（相当于十进制小数八位）的正弦和正切函数表；此外正割（secant）和余割（cosecant）函数也是由他正式提出。不过，计算圭表（gnomon）及其影长的关系有很长远的历史，所以这些三角函数到底何时最早出现不无争议。除了三角学以外，阿布瓦法对于实际测算问题的解决，例如计算法、仪器制造、实用作图法等也有著作和很大影响，而且他是最先提出负数观念的人，在此点上应该说是善马洼的前驱了。

阿布瓦法是前述布伊德政权时代的人。这政权起源于伊朗北部能征善战，以雇佣兵为业的布伊德族人，他们于934年以阿里布亚（Ali Buya）等三兄弟为首领崛起，击败阿拔斯皇朝军队，于945年进入巴格达，实际上控制了伊斯兰帝国在中东的大部分；其下一代领袖阿德阿都拉（Adud Ad-Dulah，949—983）继位后将该政权的力量发挥到顶峰。不过这些类似军阀的布伊德领袖却并非跋扈武夫，他们和阿拔斯皇朝的早期哈里发或者塞尔柱土耳其君主一样，都雅好学术文化，因此在他们治下不但伊朗文化得以发扬，而且科学也同样受到尊重和支持。阿德阿都拉对于科学尤其热心，因此阿布瓦法和另外一位天文学家库希（Al-Quhi，940—1000）在959年被召到巴格达，后来负责在伊朗西南部的设拉子（Shiraz）建立天文台和进行观测①。库希也以数学知名，曾经利用圆锥曲线的交点来解决一些经典几何学难题。他又著有《星盘构造》一书，利用投影法来进行大地坐标和赤道坐标系统之间的变换，这和当时正在迅速发展的伊斯兰星盘（astrolabe）制造当有密切关系②。事实上，伊斯兰有很强的星盘传统：

---

① 有关阿布瓦法的观测工作见 Sayili 1981，pp. 109 ~ 112。

② 关于库希的数学见下列论文：J. Lennart Berggren，“Tenth-Century Mathematics through the Eyes of Abu Sahl al-Kuhi”，in Hogendijk & Sabra 2003，Ch. 6。

在9世纪初已经有这方面的论述，后来法尔甘尼又对此作了很深的数学研究，因此在库希之前即10世纪初已经有流传至今的最早星盘实物出现。其后伊斯兰的星盘著作传入西班牙，在12—13世纪翻译成拉丁文传入英国，特别是牛津大学，然后再散播到整个欧洲。

布伊德第三代首领沙拉夫（Sharaf Ad-Dulah，983—989）同样热心天文学。他在巴格达皇家花园中兴建的天文台于988年盛大落成，其中有阿布瓦法所设计的6米长墙壁象限仪（quadrant）和18米长石制六分仪（sextant），库希受委任主持其事。不幸翌年沙拉夫猝逝，天文台因而废置[①]。无论如何，布伊德政权为10世纪中叶带来了将近半个世纪（945—989）的科学兴旺，像阿布瓦法、库希、卡拉吉、海桑等就都是藉此发挥才华的。

天文学的散播

从10世纪初开始，大一统伊斯兰帝国破裂，最少有三个强大地方政权崛起，布伊德政权只不过是其前奏而已。和他们同时亦即10世纪中叶，法蒂玛派（Fatimids）在埃及取得政权，建造新都开罗，并且自立为哈里发，随后征服北非和巴勒斯坦，并以海军和商贸为基础建立独立帝国。差不多同时，早已经覆灭的乌美亚王朝有一位后裔控制了西班牙，建立以科尔多瓦（Cordova）为中心的帝国。最后，来自里海和咸海之间的塞尔柱土耳其人在10世纪末控制了波斯、两河流域和巴勒斯坦大部分地区，建立第三个伊斯兰帝国；其后他们更在1071年著名的曼兹克特（Manzikert）之役击溃东罗马帝国军队，从而为族人以小股武装移民方式逐步占领小亚细亚打开门户，也为日后奥图曼帝国的建立奠定基础。这些后继帝国在宗教上属于不同派系，因而互相攻击，争战不已，但它们的君主仍然尊重和支持学术，特别是天文学。这一方面是阿拔斯皇朝所建立大传统的影响，同时也出于历法上的需要，科学传统也就因而能够延续下去。

---

① 有关此天文台的历史，见 Sayili 1981，pp. 112 - 117。

尤努斯（Ibn-Yunus，950—1009）是埃及天文学家。他和法蒂玛皇朝最初两位哈里发关系密切，因而得到他们眷顾，从事天文观测三十多年（975—1009）之久，著成浩大的《赫肯姆朝天文数表》（*Hakimi Zij*），在其中不但球面三角学有发展，而且还包含多种历法转换表、详细月球运行数表、以弧度为变量的三角函数表，等等。他是月球研究专家，其大量观测记录（包括30次月蚀和40次行星相合）至19世纪犹为美国天文学家纽科姆（Simon Newcomb）应用于月球加速度研究，并且证明是高度准确的[①]。

和尤努斯相比，则曼苏尔（Abu Nasr Mansur，970—1036）和比伦尼（Al-Biruni，973—1048）的经历更为传奇。曼苏尔是中亚古国和文化中心花剌子模（Khwarazm，在里海与咸海之间）的王子，因此有机会得到数学家阿布瓦法教导，而他又将所研习的传授予比自己稍晚的比伦尼，两人遂成为相知治学伙伴。995年花剌子模发生动乱，他们各自辗转流亡外地将近十年，以迄1004年同返故土，依附掌权的新主，并且建造巨大天文台，继续工作。但1017年花剌子模再为强邻伽兹南（Ghazna）[②]所灭，两人俱为新主马哈茂德（Mahmud）苏丹所掳，此后一直在伽兹南都城工作，以迄终老。马哈茂德大军于1022—1026年间出征印度，比伦尼随军游历印度，得以熟悉它的言语、宗教、哲学、天文、数理乃至地理、风俗民情，写成包罗万有的《印度》（*India*）一书[③]。

比伦尼是才大如海的学者，虽然多次遭遇大变和流离困厄，然而始终坚持天文观测和治学不辍，毕生著述竟达到143种之多，合五六百万字之谱，传世亦将近五分之一[④]。他是冷静、客观，兴趣广博，长于观察和实验的学者，虽然没有崭新理论或者惊人发现，然而在数学、天文、物理等

① 尤努斯的观测工作特别是他是否得到埃及哈里发赞助的问题，见 Sayili 1981，pp. 148－156。

② 伽兹南即今加兹尼（Ghazni），在阿富汗首都喀布尔西南130公里。

③ Saleem Khan 2001 是从印度学者角度出发，对此书所作评论。

④ 对比伦尼的详细论述见 DSB/Al-Biruni/Kennedy；Kennedy 1983，pp. 562－634，以及该著作中所列其他有关专书。

许多方面都有重要建树。例如，他推测得出地球半径为6339.6公里，这比现代值只差0.5%；记录了六百多个地点的经纬度，其准确度都高于托勒密；应用三维直交坐标，并且提出极坐标（polar coordinates）的观念；准确测量多种金属的比重；讨论光和热的本质；指出光速远高于音速，以及加速度是由不均匀运动所引起，等等。他富有语言天才，能够通阅大量古代文献，又和同时的重要哲学家阿维森纳书信往还，因而保留了许多珍贵科学史和历史资料。

曼苏尔也留下多种著作，但主要贡献在三角学：他发现了“正弦定律”，即三角形每一角的正弦与对边长度的比值都相等；又应用正弦以外的其他三角函数来解决球面三角学问题。此外他还为曼尼劳斯的《球面论》做详细评注。这很重要，因为该书希腊文原本已经失传，仅余数种阿拉伯文译本。不过，他与老师阿布瓦法合作无间，所以正弦定律其实可能是后者所首先发现，他的许多其他工作亦有同样问题。

五、实用与实验科学

伊斯兰不但在数理科学有突出表现，而且在以经验和实用为主的其他科学上也有巨大进步，其成果成为欧洲日后继续发展的基础，其中最重要的无疑是光学、医学和作为化学前身的炼金术。这些学科的发展基本上与数理科学同时，也就是在9—11世纪三百年间，但炼金术可能早至7世纪末期就已经开始了①。

炼金术开山祖师札贝尔

倘若说伊斯兰数学、天文学、光学、医学都具有明显的希腊传统，那么它的炼金术渊源就没有那么清楚了。但这方面观念和技术自埃及传入中东，倒还是有明显线索，那就是乌美亚皇朝的雅兹德亲王（Khalid ibn

---

① 有关伊斯兰炼金术资料见 Holmyard 1968，Ch.5；Rashed 1996，Ch.25；以及 Linden 2003，Pt.II 相关部分。

Yazîd，约 660—704），他可能是和炼金术以及科学翻译有关的最早历史人物[①]。根据记载，他厌倦宫廷政治斗争，所以转向自然哲学，并且对炼金术特别感兴趣，因此特地从亚历山大召来希腊哲人，令他们将有关书籍从希腊文与科普特文翻译成阿拉伯文。他自己也师从一位基督徒炼金师莫理安纳斯（Morienus），而后者则是炼金师斯特凡诺斯（§6.6）的弟子。此外相传，雅兹德还撰写过大量与炼金术有关的诗歌。不过，雅兹德学习炼金术的真正动机，其实可能是为急速发展中的阿拉伯帝国获得至关重要的铸币技术[②]。

但伊斯兰炼金术的开山祖师应该是札贝尔（Jabir ibn Hayyan，约 721—815），拉丁译名葛贝尔（Geber）[③]。他出身于库法城的药剂师家庭，父亲哈扬（Hayyan）曾经到东部呼罗珊地区出力煽动反叛乌美亚王朝，后来被捕见戮。孤儿札贝尔被送往阿拉伯依附族人，成长后回到库法继承父业，到阿拔斯皇朝的拉昔时代成为宫廷化学师。据说他与什叶派教长札法以及朝中大臣巴麦克札法都十分友善，而且后者热心推动希腊科学典籍的翻译与他有密切关系。无论如何，他非常渊博，除了炼金术以外在科学与哲学各个领域都有著作。巴麦克家族失势之后他颇受牵连，因此回到库法隐居，后来可能在呼罗珊去世。

目前归在札贝尔名下的作品（即所谓 *Jabirian corpus*，包括专书和论文）数量极其庞大，而且性质驳杂，显然不可能都是原作。根据考证，其中大部分当为 10 世纪伊斯梅教派（Ismailites）学者的附会之作，或者经过其增益改动，但由于两者纠结混杂，已经不可能再清楚地与原作分辨。不过，他才能超卓，作品中最核心的两百种左右的确可能与其本人直接有关，这分为四组：（1）“112 部书”，这都是奉献予巴麦克札法，而且渊源于《绿玉版》的；（2）“七十部书”，其中大部分曾经在 12 世纪由吉

---

① 见 Holmyard 1968，pp. 63－66，但该书所引那甸（Al-Nadim）的记载不无争议，见 Gutas 1998，p. 24。

② 这是沙理巴的观点，见 Saliba 2007，pp. 50－51。

③ 札贝尔的事迹与作品有极大争议，其详细论述见 Holmyard 1968，pp. 68－82；DSB/Jabir/Plessner；与 Rashed 1996，pp. 865－867。

拉德翻译成拉丁文；(3)“十部调节之书”，主要描述所谓“古代炼金师”如毕达哥拉斯、柏拉图、亚里士多德等的成就；(4)数部“平衡之书”，主要讨论札贝尔本人的金属组成性质平衡理论。

札贝尔的作品有相当数量与化学、冶炼有关，而且记载了许多重要技术发明，例如各种金属提炼、钢铁锻炼、布革漂染、防锈、防水布制造、仿金书写液体制造方法，等等。当然，这些很可能是8—9世纪伊斯兰冶炼、制造传统精粹的记录，而并非全为个人发现。除此之外，他在实验技术上也获得了重要进展，这包括首次制成硝酸、柠檬酸、酒石酸，以及通过蒸馏而获得高浓度醋酸。他又将矿物质区分为挥发性（spirits）、金属、和粉质等三大类，其中挥发性的包括硫磺、砷、水银、樟脑、硇砂（sal ammoniac，即氯化铵）；金属包括金、银、铅、锡、铜、铁，以及被称为“中国铁”的白铜，即锌、镍的铜合金；至于粉质矿物则根据其物理性质再分为七类。札贝尔最重要的成就是，提出参与化学反应的各种物质有一定分量比例这一观念。

金属组成与转化理论

札贝尔对于后世炼金术影响最深远、最巨大的，无疑是他所首先明确提出来的金属的“水银—硫磺合成论”。这理论的基本观念是：古希腊恩培多克勒和亚里士多德所提出的地、水、风、火四元素并非直接合成金属，而是在星象的影响之下，先在地球内部深处合成由水与气所生的水银，以及由火与土所生的硫磺，然后再由这两种所谓“居间元素”生成金属，至于金属的类别则视水银与硫磺的纯度以及比例而定：最纯净者，亦即依照最自然的平衡比例所合成者，就是黄金；纯净度不足，或者结合比例有偏差者，则成为其他次等金属。当然，他深知将水银与硫磺一同加热实际所得只是朱砂，因此又提出所谓“真水银”与“真硫磺”，而认为日常可得的水银和硫磺无论如何提炼也只不过是其近似而已。但如何才可以纠正次等金属的内部结合比例，以使之“变质”（transmute）为贵金属呢？炼金师的基本手段就是在实验室中重新体现在地球深处所发生的自然变异，即将硫磺和水银在各种温度、火候和掺入不同其他成分的状况

下施以煅烧（calcination）、溶解（solution）、汞合（amalgamation）、沉淀（precipitation）、胶结（coagulation）、蒸馏（distillation）、升华（sublimation）等等手段。这种变化的关键或曰奥秘（arcana）便是找到所谓"点金石"（The Philosopher's Stone）或"灵丹"（elixir），那可以说相当于特殊催化剂吧。

以上只是他这理论的最粗略部分，在这背后还有更繁复和精细的观念。首先，他提出了冷、热、干、湿等四种基本性质，而认为四元素是由这些性质在物质（substance）上配对合成，即火的性质是干热，气是湿热，水是湿冷，土是干冷；水银近于水，所以是湿冷，硫磺近于火，所以是干热。至于金属则更复杂，因为它有所谓"外部"和"内部"性质，所以是由上述两对性质来决定。然后，在新柏拉图学派和数字神学的影响下，他更进一步利用数字幻方来与（构成金属名称的）阿拉伯字母以及上述基本性质结合，而构成一个非常繁复的金属内部性质平衡理论①。

札贝尔理论的最基本部分不但为伊斯兰学者接受、发扬，而且在中古欧洲也同样被所有炼金师宗奉为至理，直到16世纪的帕拉塞尔苏斯才有所修订。至于他的平衡理论则过于繁复，所以并没有继续发展。整体而言，他无疑是伊斯兰乃至中古化学和炼金术的开山祖师、奠基者，后来者基本上都是沿着他已经开辟的道路继续前进而已。

冶炼大师拉齐

在札贝尔之后半个世纪，出现了学术上能够与之争辉的拉齐（Al-Razi, Rhazes, 866—925）②。他生于伊朗北部德黑兰附近古老的雷城（Rayy），

① 这一著名的数字幻方是：

4	9	2
3	5	7
8	1	6

它纵横斜各行数字和都是15。与此有关的说明见 Holmyard 1968, pp. 75 – 78。

② 有关拉齐见 Holmyard 1968, pp. 86 – 92; Rashed 1996, pp. 867 – 869 以及 DSB/Al-Razi/Pines。

其初治希腊文和哲学、音乐、数学、天文等传统科学，中年到巴格达学习医学，兼习冶炼，不久声名鹊起，备受王侯礼遇，此后在多处行医、讲学，笔耕不辍，晚年因为眼疾而回归雷城终老。拉齐和百年后的比伦尼一样，都是渊博无涯的大学者，作品竟将近二百种之多，从形而上学、宇宙学、数学、物理学、天文学以至知识论、人生哲学无所不包。但他最为世人所知，还是作为一位仁慈、尽心的医生，平生诊治笔记经后人编纂成九卷，名为《善行录》（*Al-Hawi*，*The Virtuous Life*）的医案集，于13世纪由犹太医学家法拉古斯（Faradj ibn Salim，Farraguth）翻译成拉丁文，15世纪印刷出版。在此大量第一手资料的基础上他又编写了多种医书，包括肾石、胆石、麻疹、敏感性哮喘等的专门研究，而且意见独立，往往直接指陈希腊医学权威盖伦的谬误。

此外，他还是冶炼术大师，这方面著作传世的即有二十种之多，其中最著名的《十二论集》（*Compendium of Twelve Treatises*）、《秘卷》（*The Book of Secrets*）与《秘中之秘》（*The Book of the Secret of Secrets*）等翻译成拉丁文后成为欧洲炼金术与早期化学的基础。他在冶炼学上的贡献大抵有三方面。第一，是物质的研究与分类，最主要的是首先制成硫酸和乙醇，以及改进札贝尔的矿物分类，将动植物以外的物质分为六大类：（1）挥发性物质（spirits），如水银、硫磺、硫化砷、氯化氨等四种；（2）实体（body），如金、银、铜、铁、锡、铅、白银等七种金属；（3）矿石（stone），如铁矿石、蓝铜矿、孔雀石、云母、石膏、石棉、玻璃等13种；（4）七种矾（vitriol），即硫酸盐，如所谓五色矾；（5）七种硼砂（borax）；以及（6）11种盐（salt）。第二，是将冶炼所用的器皿分为金属冶炼所用，以及一般化学使用的两大类，前者如炼炉、风箱、坩埚、钳、剪、锉等，后者如蒸馏器、烧杯、烧瓶、梨形器、烧灯、浅烧盘、烧锅、沙温器、水温器、漏斗、臼碗、石臼板，等等；他又详细列出这些器皿的名称、使用法以及组合方法，也就是提供了一部完整的实验室手册。最后，他接受札贝尔的金属二元构成说，相信金属转化的可能，并且似乎曾经做过不少炼金的尝试，更曾列出提炼所谓“灵丹”的步骤，但亦很坦白地当众承认这些尝试并不成功。在这方面值得注意的是，金迪曾经公开反对金属转化的可能，而拉齐则有论著加

以反驳。此外，他着重试验多于猜测、理论，因此很可能是将札贝尔理论导向炼金术之具体实践的关键人物。

作为化学前身的炼金术虽然在托勒密王朝时期已经有各种零散的方剂、技术，而且有大量哲学与宗教性文献，但它真正发展成为具有明确目标与基本理论的实验科学，其实是在伊斯兰时期，而札贝尔和拉齐可以分别视为开山祖与奠基人物。此外，在他们之后也还有其他重要的炼金师，诸如10世纪西班牙的马斯拉马（Maslama ibn Ahmad，Al-Majriti）和十三四世纪间埃及的阿布卡西姆（Abu'l Kasim al-Iraqi）与爱达米尔（Aidamur al-Jildaki）等①。因此，到了中世纪，欧洲所承受的炼金术已经是一个相当悠久和完备的传统了。

光学大师海桑

最后，我们要谈到光学家与天文学家海桑（Ibn al-Haytham，Alhazen，965—1040）。他和柯洼列兹米以及札贝尔一样，都是开创性人物，但又不完全一样，因为光学有很强的希腊传统，诸如欧几里德和托勒密都有这方面著作。因此他应该视为承先启后的大师，是在前人基础上开拓崭新领域的人②。

海桑是伊拉克南部巴士拉（Basra）人，年轻的时候在当地从政而且颇有地位，但教派纷争令他厌恶，因此转向哲学和科学，成名后赴开罗，依附法蒂玛皇朝雅好科学的君主赫肯姆（al-Hakim）。但这位哈里发性情乖僻，令他一度被迫佯为癫疯，直至新君登位之后才得以转往阿兹哈尔清真寺（Azhar Mosque）的学术中心潜心研究，终老于兹③。他著作等身，将近百种之多，而且大半得以流传后世，其中最重要也最为人称道的是七

① 有关伊斯兰后期炼金师见 Holmyard 1968，pp. 100－104；马斯拉马的重要性在于他又是重要魔法著作《辟加特力斯》（*Picatrix*）的作者，见§11.6。

② 有关海桑光学理论与希腊光学的关系以及其开创性意义，见 A. I. Sabra，“Ibn al-Haytham's Revolutionary Project in Optics：the Achievement and the Obstacle”，in Hogendijk & Sabra 2003，pp. 85－118。

③ 有关海桑见 DSB/Ibn al-Haytham/Sabra，此为长篇传记，对其生平与发现均有详细论述。

卷本的《光学汇编》（*Kitab al-Manazir*）[①]。此书虽然继承古希腊光学，特别是托勒密传统，但有大量结果和推断是通过实验与独立思考所得，在精神和许多结论上都相当接近现代物理学。吊诡的是：海桑身后250年间此书在伊斯兰学术界竟然无人问津，甚至无人知晓，以迄13世纪末卡玛阿丁（Kamal al-Din）将之详为研究、评注，这样才终于得以重见天日（见§8.8）。另一方面，此书在12世纪欧洲被翻译成拉丁文，名为*Perspectiva*，并且立刻引起极大兴趣。在1260—1280年间罗杰培根（Roger Bacon）、维提罗（Witelo）、佩卡姆（Peckham）等学者的光学作品就都是以之为主要资料与思想来源的[②]。

《光学汇编》在结构上以托勒密的《光学》为典范，但在内容上则有许多突破与革新[③]。全书以视觉（vision）为中心，但这自然无可避免地要牵涉到光的性质与传播。书的第一卷最为基本，它提出了下述重要观念：（1）光无论其来源是阳光、火光、抑或反射光，性质都相同。（2）光总是依循直线进行：这是以屏障和针孔做实验证明的；发光体的每一部分都向所有方向沿直线发光。（3）视觉产生于对象发光或者光受对象反射而进入并影响眼睛，而并非如希腊学者所想象，是眼睛发出射线感触对象——亦即否定了所谓“视觉射线理论”（visual ray theory）：他对此理论所举出的强有力反证是，眼睛如何可能发出射线感触日月星辰那么遥远的天体？（4）景物通过针孔进入黑室（*camera obscura*）成像的原理；（5）眼睛的构造——不过他的构想并不完全正确，因为他未能充分了解透镜的作用。

至于卷二和卷三则分别讨论视觉，例如对光暗、颜色、形状、运动、质地等等的感觉，以及视错觉的成因。卷四至卷六讨论视觉与反射：这包括证验反射定律所用的铜制实验仪器，以及各种不同镜面（包括凸和凹球面镜、圆柱形镜和圆锥形镜）的反射。卷五解决下列以海桑为名的著名问题：“倘若A点所发光线经由上述各种镜面的反射而进入位于B点的

---

① 此书第1－3卷为有关视觉者，它有下列附长篇导言及详细评注的英译本：Alhazen/Sabra 1989。

② 此书于11－14世纪间在伊斯兰世界和欧洲的流传情况见Alhazan 1989，ii，pp. lxiv－lxxvi。

③ 此书内容综述见Alhazan 1989，ii，pp. liii－lxiii。

眼睛，那么镜面上的反射点在什么位置?”卷七讨论折射与视觉：虽然他没有发现斯涅尔定律（Snell's Law），却提出了光在不同介质有不同速度，介质越密速度越小的观念，并且以此解释折射。他更以大气的折射来解释曙暮光（twilight），指出这是日在地平线以下19°内才有的现象，并由之推断大气厚度是15公里。从这许多丰硕的成果，我们当不难了解格罗斯泰特、罗杰培根以至伽利略和牛顿的光学研究是在怎么样一个传统中孕育出来。

海桑在数论上也有特殊贡献。他最有名的是利用所谓“威尔逊定理”（Wilson's Theorem）来解决下列同余问题：某数分别以2至6相除均余1，以7相除则可尽，求该数。由于威尔逊定理是p倘若为素数则$1+(p-1)!$可以为p所尽除，因此问题的答案显然是$1+6!=721$。但海桑更进一步指出：这问题是不确定的（indeterminate），并且给出了它所有的解。此外他还曾研究欧几里德的下列定理：倘若2^k-1为素数，则$2^{k-1}(2^k-1)$为完整数（即它等于其所有因子之和）；而企图证明其逆定理，即所有完整数都具有上列形式。他虽然没有成功，但努力的方向仍然是可贵的。此外，海桑还是最早对托勒密天文系统作出批判的学者（见§8.7），这对其后四百年间的伊斯兰天文学产生了深远影响。

六、伊斯兰哲学巅峰

到了罗马帝国末期，由于基督教正统观念的确立与伸张，科学在西方文明的地位发生巨大转变：它不再能够从宗教获得滋养、动力，反而被视为异端而备受压迫，即使在开明教父的观念中，最多也只能够获得“侍女”的卑下地位而已。在伊斯兰文明中则情况比较微妙：自翻译运动兴起以来科学和哲学（这被音译为*falsafah*）是获得哈里发与大臣赞助、鼓励、推动的学问，所以在社会上层一直占据稳固地位。然而，西方哲学毕竟是外来思想，而且纯粹立足于理性，因此与本土的，以神示为至终基础的伊斯兰教始终有潜存冲突，这至终发展成立足于神示与先例的宗教“法理学”（*fiqh*），以及立足于理性的“神学”（*kalam*）和哲学（*falsafah*），这两方面

之间的紧张、争论，那在9世纪中叶，甚至蜕变为官方意识形态与民间宗教理念之冲突，结果以官方退却告终（见§8.10）。本节要讨论的阿维森纳和阿威罗伊是在中古欧洲拉开序幕前后出现的渊博学者，他们继承金迪和法拉比的工作，将伊斯兰哲学带到巅峰，并且对欧洲经院哲学和科学产生巨大影响。同时，他们也不免卷入上述论争。

在哲学与医学之间：阿维森纳

阿维森纳（Ibn Sina，Avicenna，980—1037）是波斯医学家和哲学家①，与海桑和贝伦尼同时，并且与贝伦尼相熟，留下不少来往书札，事实上他们的渊博和著作丰富也差可匹敌。这两位同时代的大师都是伊斯兰学者，但更是波斯学者。在他们的时代（10世纪中叶）以巴格达为中心，以阿拉伯人为主宰的大一统阿拔斯皇朝早已衰落，先后代兴的，是多个波斯和塞尔柱土耳其地方政权，而在背后推动这些政权的精神力量则是古波斯文化复兴，包括波斯语文、文学、历史之重新抬头和发挥影响力。在这“波斯文艺复兴”时期出现的诗歌有上文提到的奥玛开阳《鲁拜集》，但最突出的则是费耳道斯（Firdowsi，约935—1020）的长篇史诗《帝王纪》（*Shah-Nameh*），它旋即成为伊朗民族精神象征，日后更与荷马史诗被相提并论②。阿维森纳与费耳道斯地望相近，时代则晚半个世纪，他在动乱中仍然焕发自强不息的精神当是受后者影响。

阿维森纳的家族来自巴尔克古城，后来他父亲迁居布哈拉（Bukhara），在以该城为首都的萨满尼（Samanid）政权做地方长官，因此能够为爱子延聘良师。阿维森纳由是得以发挥其早熟的天才，于哲学、数理、天文、医道无所不窥，在弱冠之年即声名鹊起，随后为君主治病成为御医，并以此机缘遍览宫中所藏珍贵典籍，从而奠定一生学问基础。然而好景不长，他在

① 在20世纪50年代西方学界曾经由于剑桥大学学者推动庆祝阿维森纳千年祭（伊斯兰纪年）而掀起他的热潮，由此出现的相关著作如 Wickens 1952，Afnan 1958，Goichon 1969 对他都有深入论述。

② 波斯文艺复兴与其民族和文化意识在受阿拉伯人长期压制后，重新通过伊斯兰方式抬头有密切关系，而且影响非常深远。见 Hodgson 1974，ii，pp. 154－159。

父亲去世后被迫另投其他君主，自是开始了将近二十年漫长、曲折的连串投靠和出奔，其间行止有出于外来政治变化，也有原因隐晦，可能和他家族的宗教背景即信奉伊斯梅教派相关。在几乎遍历波斯所有主要城市，如东部呼罗珊诸城、雷城、哈马丹（Hamadan）等等之后，他终于在伊斯法罕（Isfahan）获得安定环境，藉以度过十五载舒适晚年。

阿维森纳虽然半生流离奔走，但在困顿忙碌中始终不忘观测研究，亦复著述不辍，完成作品竟达难以想象的450种之多，流传后世者也过半。他是极其崇尚理性的学者，作品以哲学和医学为主，其中最重要的是《理疗集》（*Kitab al-Shifa'*, *Book of Healing*）以及《医典》（*Canon of Medicine*）。我们无法在此如份论述这两部典籍的重要性。粗略地说，五卷本的《医典》是继承自胡奈恩以至拉齐整个伊斯兰医药传统的集大成之作，它在12世纪下半叶为吉拉德翻译成拉丁文之后，立刻就对中古欧洲最早的医学院，即意大利南部的萨莱诺（Salerno）学院发生深刻影响。这样一直到16世纪为止，它始终是欧洲医学界的权威典籍，在15—16世纪间即翻印五十版之多，而在17—18世纪仍然为西方医学生所研习。换而言之，它是继希波克拉底和盖伦之后承载西方医药学大传统的主要经典①。

至于《理疗集》则是一部百科全书式的哲学与科学著作，它的哲学思想虽然同样承接希腊，特别是亚里士多德和柏罗丁（他的《九章书》部分被翻译成阿拉伯文之后，一度被认为是亚里士多德的神学作品），但却不同于金迪和法拉比之停留在注释阶段，而自有见地和发明，并且形成一个独特和完整体系。这些思想的核心是对于“存在”观念的分析，特别是对存在的偶然性或者可能性（例如一般事物之存在）和必然性（亦即存在就是该事物之本质）之间关系的分析。他的这一分析显然触及了基督教（当然在伊斯兰教也相同）的上帝与宇宙创造观念，所以深刻和广泛地影响了中古众多神学家和哲学家。例如圣安瑟姆（St. Anselm）的上帝存在证明、大阿尔伯图（Albertus）的逻辑、阿奎那（Aquinas）的系统神学等都受他的观念影响。他还被认为是现代西方哲学观念的前驱，是

① 这本巨著有下列英译本：Avicenna/Gruner 1984。

"第一位笛卡儿主义者"以及康德"纯理性的背反"(The Antimony of Pure Reason)第一和第二项(这分别与时空的限度以及是否有不可分割之实体两个问题相关)之先声①。当然，他强烈的理性主义和基督教有许多基本冲突，其中最明显的三点是：他认为世界并无起始和终结，上帝是通过"播射"(emanation)而创造世界，以及道成肉身和肉身在末日复活这两个教条都是无意义的。因此，他对中古基督教所发挥的影响很复杂，既有共鸣和潜移默化，亦复引起激烈反对和争辩。然而，不争的事实是：他虽然不能被视为西方哲学和神学传统的正宗，欧洲中古却在很大程度上是通过他来认识亚里士多德的，因此整个所谓经院哲学(scholasticism)离不开他的观念、方法和词汇，甚至可以说，是在他的思想基础上发展出来的。

阿维森纳不但是医学和哲学宗师，在科学上也同样有贡献②。在这方面除了对于大阿尔伯图和罗杰培根的广泛影响之外，最值得注意的当是他还发展了费劳庞诺斯(John Philoponos，约490—580)的运动理论，即批判亚里士多德认为物体在离开投掷者之后仍然能够继续运动是由于空气推动的谬论，并且指出：空气其实阻碍运动，被掷物体其实是从投掷者获得了特殊的运动"能力"(impressed virtue)。阿维森纳则进一步提出以下数点：第一，倘若没有其他阻碍的话(例如在真空中)，则运动可以无限制持续；其次，物体在固定能力驱动下，其速度与重量成反比；第三，在受到空气阻碍的情况下，以相同速度运动的物体所能够行经的距离与重量成比例。这些看法显然都颇有道理，前两点甚至和牛顿的运动定律相近。不过，在14世纪欧洲首先提出"冲能"(impetus)观念的布里丹(Buridan)是否曾经受他这一理论影响则还不能确定(见§10.8)。此外，他不但是坐而论道的哲学家和扶难济世的医学家，也还是一位观察入微的博物学家，对于天象、气象、地质、人体构造都有仔细研究。他在《矿物学》(*De Mineralibus*)一书中根据直接观察提出了动植物在压力和高温作用下变为化石的原理，其后大阿

① Wickens 1952, pp. 30 -40; Goichon 1969, pp. 77 -78.

② A. C. Crombie, "Avicenna's Influence on the Mediaeval Scientific Tradition", in Wickens 1952, pp. 84 -107.

尔伯图通过对此书的评述将此观念传入欧洲，其影响一直及于达芬奇和16—17世纪的古生物学家。

最后，他虽然接受金属的“水银—硫磺合成论”，却公开和肯定地反对金属可以转化之说，认为经过冶炼之后，金属的外表可以变为与金银相似，甚至可以乱真，但它的本质并没有转变。因此，“我认为这（转化）是不可能的，因为没有办法割裂一种金属的（内部）组合，使它变为另外一种”。这清楚地显示了他独立与清晰的思考能力。他这一观点引起了长期争论，说明在伊斯兰科学传统中“炼金”的可能性并未完全得到肯定①。

理性主义者阿威罗伊

阿夫南（S. M. Afnan）曾经这样形容中古经院哲学：它有四个主要潮流，“最早的可以称为奥古斯丁主义，跟着依历史上出现的顺序是亚里士多德主义，然后是阿威罗伊主义，最后是阿维森纳主义。”② 从有关人物的时代来看，这个次序十分奇怪，但它反映了一个重要事实：比阿维森纳晚一个半世纪之久的阿威罗伊（Ibn Rushd，Averroes，1126—1198）是首先将亚里士多德介绍给中古欧洲的人，他发挥的影响也因而更早，更直接。他处于欧洲翻译运动高潮，和意大利翻译家吉拉德同时而且同在西班牙工作，因此他迅即为欧洲学者认识，远在波斯的阿维森纳虽然更广博，更有创意，知名于欧洲反而更晚，那是很自然的。

阿威罗伊出身于西班牙南部所谓“安达鲁斯”（Al-Andalus）的显赫法学世家，父祖两代都出任都城和文化中心科尔多瓦（Cordova）首席大法官。他自幼跟从多位名师研习法律、哲学、天文、医学，其后由于发表亚里士多德评述，为当时的御医图费尔（Ibn Tufayl）赏识，在1169年被推荐给北非马拉喀什（Marrakesh）王国的苏丹，自此平步青云。在数年间先后被委任为塞维尔（Seville）和科尔多瓦法官（1169—1171），其后

---

① Holmyard 1968，pp. 92－96，引文在第95页。

② Afnan 1958，p. 284.

更出任御医和最高法官（1182），可谓备受器重。在此安稳环境以及苏丹的鼓励和支持下，他得以从容构思，有系统地评注亚里士多德全集，并从事其他多方面著作，逐步完成一生大业。但他的思想其实颇为大胆和不拘教义，以致干犯教士与同行之忌。事实上，统治安达鲁斯的北非阿摩哈德人（Almohads）在宗教上相当狂热和保守，他只不过因为得到两代苏丹重用而幸免于干扰。为了不清楚的原因，也许出于政治考虑，他在垂暮之年终于失去庇护，不但和其他数位自由思想分子一同受审，并且被判在科尔多瓦市郊监禁幽居，作品更遭当众焚毁之厄（1195）。其后不久他被召回马拉喀什并获得赦免，但不久就去世了①。这事件往往被认为是个重要信号，也是伊斯兰哲学与科学衰落的转折点。但其实这与地区性的政治和宗教气氛相关，而难以视为广大伊斯兰世界的普遍现象，而伊斯兰科学最终为何衰落始终是有争议的复杂问题（见本章末节）。

阿威罗伊对西方学界最重要的贡献，也是他之所以在西方那么知名的原因，是评述亚里士多德的全部作品，唯一遗珠是他未能见到的《政治学》，这他以柏拉图的《国家篇》替代了。这里所谓“评述”其实有三个不同层次的处理，即简介与撮要（summary）、中篇论述（middle commentary），以及原文翻译另加注释（long commentary）。至于个别作品的处理方式则视乎其性质和重要性而定，有些作品是以两种甚至全部三种方式来评述的。据现代研究，他的评述作品总数达到38种之多，其中15种在13世纪初已经翻译成拉丁文，另外19种则迟至16世纪才从希伯来文本翻译过来②。由于其涵盖范围之广以及行文之细致准确，这些评述的拉丁译本在当时新出现的大学风行一时，成为最热门教材，并因此而刺激了经院哲学的发展。毋怪13世纪巴黎大学要被称为“阿威罗伊主义”大本营了。

阿威罗伊的哲学有强烈理性本位倾向，所以被不少伊斯兰学者认为有颠覆信仰的危险。比他早大半个世纪的神学家和神秘主义者伽札利（Abu Hamid Al-Ghazali，1058—1111）对于自然哲学和科学采取实用主

---

① 有关阿威罗伊，见 DSB/Ibn Rushd/Analdez & Iskandar。

② 见 Grant 1996，p. 30。

义态度，但对于形而上学和理性神学（*kalam*）则认为有混淆、损害信仰之危险，所以对大多数人并不适宜。他著有《哲学家的意图》（*The Intentions of Philosophers*）和《哲学家的失当》（*The Incoherence of Philosophers*）来反驳从金迪、法拉比以至阿维森纳等以哲学理论来与伊斯兰教义相抗颉的立场①。阿威罗伊则坚定地站在哲学家这一边，以《失当的失当》（*The Incoherence of Incoherence*）一书来反驳伽札利。在这场相隔万里，前后历时两个世纪的辩论当中双方都表现了高度的克制、理性和学者风度，而且阿威罗伊始终是虔诚信徒，认为宗教与哲学并无冲突，两者可以调和。但这仍然无助于消弭双方对立之尖锐。阿威罗伊暮年的遭遇就是这冲突的激烈程度之最好说明。这观念上的长期摩擦，当亦是导致伊斯兰思想大气候在12—13世纪之交发生基本转向的因素之一吧。

七、安达鲁斯的托勒密批判

在12世纪末，善马注和阿威罗伊相继去世；到了13世纪初，巴黎大学与牛津大学相继诞生，中古第一位科学家格罗斯泰特出任牛津大学校长，并且开展其学术研究。因此，十二三世纪之交曾经被定为伊斯兰科学衰落和欧洲中古科学兴起的转折点，而伽札利对哲学家的攻击则被认为是造成这衰落的间接而重要的原因②。但其实，在13—15世纪将近三百年间伊斯兰天文学与光学仍然非常活跃：伊朗的马拉噶（Maragha）学派出现于13世纪；大马士革天文学家沙提尔（Al-Shatir）的天体运行理论出现于14世纪，它深深地影响了哥白尼；至于撒马尔罕的高等学院和天文

---

① 有关理性神学的发展以及伽札利的生平和思想，见 Hodgson 1974，ii，pp. 175－183。

② 例如林柏格在其《西方科学之起源》一书第八章就持此观点，认为“但在13与14世纪伊斯兰科学衰落了，到15世纪更是荡然无存……首先，保守的宗教力量越来越发挥作用。这有时以直接反对的形式出现，例如10世纪末在科尔多瓦之焚毁有关异邦科学的书籍”，接着他指出这所产生的效果往往颇为微妙，是无形的抑制而非直接压迫，见 Lindberg 1992，pp. 180－182。他所提到的伊斯兰科学家因此大体以奥玛开阳和善马注为下限。

台则出现于15世纪，那里产生了托勒密以后第一部精密星表，圆周率和三角函数计算也达到前所未有的精确度。所以，伊斯兰科学并没有在12世纪之后停顿，而是一直延续到欧洲中古末期，亦即文艺复兴之初①。但上述几个阶段的发展虽然都是在伊朗和中亚，它却并非直接地继承和发扬当地阿布瓦法、曼苏尔、比伦尼等的工作，而是走向了一个全新方向，即是对托勒密体系展开反思与批判。这方向最初由埃及的海桑所提出，其后于11—12世纪间在西班牙蓬勃发展成为传统，最后才又回到伊朗和中亚，所以是在10—15世纪五百年间自东而西，然后又自西而东兜了一个行程万里的大圈子。

海桑的天文学新方向

海桑是光学大师，在天文学上也非常重要，但贡献与同时的比伦尼完全不一样：后者顺着托勒密原有方向发展，他却以新眼光来审视其基本假设。他留下了20种天文学著作，其中最出名的是早期的《论世界构造》(*On the Configuration of the World*)。它还没有批评托勒密，但不再纠缠于天体运动的计算，而秉承亚里士多德与托勒密《行星公设》传统，认真讨论天体需要有何种实际构造（这包括一系列同心球壳，天体镶嵌在球壳内的其他同心与偏心球壳上）方才能够如所观察到的那样运行。此书全面、简单明了、没有技术性细节，因此在伊斯兰世界与中古欧洲都广为流传，在十三四世纪间先后被翻译成西班牙文、拉丁文与希伯来文，文艺复兴时期的标准大学教科书《新行星理论》亦受其影响②。它可以说是立足于宇宙建构精神，从抽象数学转向实际物理原则的决定性一步。

至于他正面表现批判精神的作品则有《对托勒密之质疑》(*Dubitationes in Ptolemaeum*)，其中心论旨就是《大汇编》里面所应用的“曲轴本轮系统”背离了“天体运动为均匀圆周运动的组合”这最根本原理，所以是

---

① 有关12世纪以后的伊斯兰天文学和光学，见以下专著：Kennedy 1983；Saliba 1994；Sabra 1994；Samsó 1994。

② 海桑的天文学工作详见 DSB/Haytham/Sabra。

不可接受的。这一简单但根本的观点很重要：它埋下了颠覆托勒密系统的种子，对随后五百年间学者从西班牙的札噶里以迄哥白尼都发生影响。除此之外，海桑还有一部《大汇编》评论，其目的纯粹是为读者提供书中数表计算方法的详细解释，而并非改进其理论。从以上三种著作看来，我们可以说海桑对托勒密天文学是非常之认真的——唯其那么认真，才会加以严厉批判和尝试寻找新方向。

安达鲁斯天文学传统

虽然伊斯兰教徒在8世纪初即已经征服北非与西班牙，但巴格达学术传统却一直要到10世纪中叶方才到达埃及，这是伊斯兰大一统帝国破裂，法蒂玛教派控制此古国并且自立为哈里发的后果。在此时期出现的尤努斯和海桑都是在新建首都开罗的宫廷资助下工作。至于伊斯兰西班牙的情况也大致相似：在8—9世纪间，统治安达鲁斯的历届总督（emir）属乌美亚皇朝后裔，他们在文化上无甚建树，直至9世纪中叶的拉曼二世（Abd al-Rahman II，822—852）才有起色。真正的蜕变开始于雄才兼且博学的拉曼三世（Abd al-Rahman III，912—961），他在929年自立为哈里发，并且奖励学术，招揽学者，锐意建设首都科尔多瓦，安达鲁斯遂脱胎换骨，取代巴格达成为伊斯兰世界甚至整个欧洲的文化中心①。

安达鲁斯在伊斯兰的征服之前本来就有拉丁天文学与星占学传统，但数理天文学的发展，当以拉曼二世时代所传入的柯洼列兹米天文数表，即所谓“zîj”（这其实是脱胎于修订印度的数表 *Sindhind*）为滥觞，其后屡经重新修订，以迄11世纪的翟晏尼（Ibn Muᶜadh al-Jayyani，989—1079）又以之为根据编纂《雅恩数表》（*Tabulae Jahen*），那是以西班牙南部的雅恩（Jaen）为观测点的详细日历，其中包括大量天文与星占资料②。翟晏

---

① 有关安达鲁斯在此时期的历史与文化，见 O'Callaghan 1975，pp. 91－162。

② 伊斯兰西班牙天文学的整体概述，见 *Samsó 1994*，*pp. 1－23*；Saliba 1994，pp. 51－81；以及 Dreyer 1953，pp. 247－267。

尼本人当是西班牙最早的数理天文学家，生于科尔多瓦，1012—1017 年间住在开罗，所以有可能曾经在彼处得到海桑的传授。他精于《古兰经》与法律，是专业律师、法官，学术上以研究《几何原本》的比例理论及其数表知名。随后这天文数表的传统由于 1069 年编成的《托莱多数表》（*Toledan Tables*）得到进一步发扬。那是一部集体创作，虽然颇多缺陷，但不失认真与原创意义。其中最重要的，就是为所谓“颤动理论”（trepidation theory）提供证据。这理论是以春分点的缓慢摆动来解释日运动的两个长期微细效应，那就是黄道面倾角（即其与赤道面的夹角）的减少，以及喜帕克斯所发现的“进动”速率之增加。①

与此数表密切相关的学者是札噶里（Ibn al-Zarqalluh；al-Zarqali；1030—1100），他出身天文仪器制造工匠，曾经设计和制造起源于安达鲁斯并且带有高度实用性质的赤道仪（equatorium）以及通用星盘（universal astrolabe），由是被邀参加（后来更领导）编纂《托莱多数表》，后来更由于此工作的刺激变为专业天文学家，此后致力于日月运动的精细观测数十年不辍，从而证实黄道远地点有 12.04″/年的运动，以及黄道偏心率具有长期缓慢变化。这些和上述“颤动理论”都密切相关——虽然他自己并没有把两者联系起来。无论如何，他留下了众多作品，其中最少有七部传世，对随后的安达鲁斯天文学家、马拉噶学派乃至哥白尼都产生了影响②。

直面托勒密系统的问题

翟晏尼和札噶里是安达鲁斯鼎盛时代的人物，在后者的晚年基督徒收复托莱多，伊斯兰力量开始衰落。虽然如此，但在他们所奠定的基础上，安达鲁斯天文学于 12 世纪还有进一步发展，即提出了对托勒密系统的批判与改进。这主要归功于塞维尔的天文学家阿法拉（Jabir ibn Aflah，约

---

① 有关翟晏尼，见 DSB/al-Jayyānī/Dold-Samplonius & Hermelink。

② 有关札噶里及其日运行理论，见 Samsó 1994，Papers I & X，以及 DSB/Al-Zarqali/Vernet。

1100—1160)[①]。他的九卷天文学著作无定名，一称《大汇编纠误》(*Islah al-Majisti*, *Correction of the Almagest*)。此书认为水星与金星其实和其他行星一样，都是在日球“以上”，而并非如《大汇编》所说的是在它“之下”。它因此猛烈批评托勒密，特别是他宣称它们不可能处于连接地球与日球的直线上这一点；除此之外，阿法拉还提出了一种特殊观测仪器[②]，认为可以取代《大汇编》中所有的仪器。此书的建设性一面是应用阿布瓦法的三角学提出多条球面三角形定理，从而将《大汇编》的许多证明大大简化。此书被同时代的吉拉德（Gerard of Cremona）翻译成拉丁文，因而被西方学者征引为托勒密批评的权威，其中的三角学更为 15 世纪的拉哲蒙坦那全面袭用于其名著《三角学》(*De triangulis*) 中，由是促成此学科在 16 世纪欧洲的发扬[③]。

在阿法拉之后还有一位也是活跃于塞维尔的比特鲁吉（Nur al-Din Ibn Ishaq Al-Bitruji, Alpetragius, 约 1150—1204)[④]。他和阿威罗伊同时，而且同样师从御医图费尔，著有《天文学》(*Kitab al-Hay'a*, *The Book of Astronomy*)。此书主要讨论传统天文学观念中的多个同心“天球”（其实是镶嵌了天体的球壳）如何能够将所谓“始动者”（Prime Mover）施诸最外层的旋转动力自外而内层层传递，以迄最中心的地球，而同时又顾及中间球壳所需要的不同旋转速度与方向。这在当时是个宇宙实质性构造的重要问题，在阿威罗伊的亚里士多德《天象学》评注也同样有讨论。此书所提出的解释并不令人信服。但阿法拉作为托勒密批判的殿军影响很大，主要因为他的著作在 1217 年由“苏格兰人”米高（Michael the Scot）翻译成拉丁文，在此之后就“再也没有天文学家能够容忍《大汇编》，认为它毫无问题了，像哥白尼那样有声望而又知道这些安达鲁斯批判者工作的

---

① 有关阿法拉的论述，主要见 DSB/Jabir ibn Aflah/Lorch。

② 这称为“torquetum”，它基本上是可以在黄道、赤道与地平等三种不同天文坐标系统之间自动转换的一个机械性模拟计算器，其作用与所谓通用星盘有点类似。

③ 拉哲蒙坦那在书中没有提到其内容的来源，因此卡尔丹诺（Cardano）猛烈指责为抄袭。

④ 有关比特鲁吉及其《天文学》的论述，主要见 Samsó 1994, Paper XII 以及 DSB/Al-Bitruji/Samsó。

天文学家，自然更不在话下”。①

在比特鲁吉之后，安达鲁斯天文学仍然延续了一个多世纪，但再也没有出现像上述几位那么杰出并且有广泛影响的学者。然而很吊诡地，中古西班牙天文学殿军却是一位基督徒，即富有才学和热心奖励学术的君主阿方索十世（Alfonso X of Castile，1221—1284）。他资助和鼓励天文学翻译和著作，而且为了纠绳《托莱多数表》错漏，更延聘学者编纂《阿方索数表》（*Alfonsine Tables*），这经过将近二十年工夫（1252—1270）方才完成，以后在整个欧洲被广泛采用，直至16世纪初年方才为新的数表取代②。不过，他所起用的学者大部分还是阿拉伯人，他们的思想以及所用资料也离不开阿拉伯学者在前两个世纪的工作，特别是札噶里的著作。因此把阿方索十世定为安达鲁斯天文学的殿军——虽然其身份只是赞助者，那应该是很适当的。

八、异军突起的马拉噶学派

就在《托莱多数表》编纂工作展开之际，万里外的伊斯兰帝国心脏遭受了致命打击，但不料这却成为不可思议的机缘，使伊斯兰天文学得以再放异彩。

这段历史还得从伊朗东北角上的图斯（Tus）河谷地区说起。这既是伊斯兰文明感染中亚突厥游牧民族的前线，也是后者渗透、入侵伊朗以至中东的传统信道。上文提到的布伊德族人在10世纪循此入侵，最终主宰巴格达；塞尔柱土耳其人在11世纪也循同样路线西进，在1055年成为伊斯兰世界的主人。他们势力浩大，组织能力强，政治意识也更为成熟，因此政权也相对稳定。到13世纪初风云再变，蒙古铁骑在成吉思汗率领下开始西征，他们同样来到伊朗东北角上，但稍事徘徊便又离弃它顾。但到

① Saliba 1994, p. 63.

② 有关阿方索所主持与资助的学术工作，见 Samsó 1994，XIII - XIV；《阿方索数表》有下列英译本：Chabas & Goldstein 2003。

了世纪中叶，大汗蒙哥命拖雷之子旭烈兀（Hulegu，1217—1265）再次西征。他这趟长驱直入，1256 年征服伊朗，1258 年攻克巴格达并将之彻底焚毁，1264 年册封为伊儿汗，定都篾剌哈（即今日伊朗西北角上的马拉噶），统领所征服的伊朗、中东以及今日土库曼、乌兹别克一带，是为伊儿汗国（Ilkhanate）。巴格达的毁灭往往被视为伊斯兰科学没落的征兆和原因，但其实它反而成为其中兴的前奏，而造成此转机的关键人物，则是生长于蒙古人侵必经之道的大学者图西。

大宗师图西的机缘

纳西尔图西（Nasir al-Din al-Tusi，1201—1274）的生平大致可以分为青年、伊斯梅、旭烈兀等三个时期①。他是伊朗东北山区图斯地方人，父亲为什叶派法学家，自幼接受宗教教育，但同时跟随舅父研习逻辑、数学等希腊学科。年长后前赴当时的学术重镇尼沙布尔求学，访求多位名师，学习哲学、医学、数学等专业，不多时就显露出过人的才华，因而声名鹊起，为各方所器重。这是他的青年时期。但此时伊朗已经受到成吉思汗铁骑的蹂躏，图斯沦陷，局势非常混乱，可以说是哀鸿遍野，只有盘踞在伊朗北方深山堡垒中的伊斯梅教派能够以武力自保，维持一片和平净土。为了寻求安定环境以潜心学术，他在 30 岁前后接受此教派的礼聘，在其治下居住。此后二十余年间，他以波斯文与阿拉伯文著述不辍，自哲学、医学、数学以至天文无所不窥，俨然成为一代宗师，可与两个世纪前的阿维森纳分庭抗礼。这是他的伊斯梅时期。

他的大转机出现于年逾知命，行将耳顺之际。当时旭烈兀所率领的蒙古大军压境，伊斯梅领导层的斗志为心理战术瓦解，其首领在图西伴随下步行出天险阿拉穆（Alamut）堡垒向蒙古军投降。由于旭烈兀喜好星占学，又素闻纳西尔在天文学上的盛名，因此优礼有加，邀请他随大军同行，并且委以监管宗教与“慈善基金”（*waqf*）重任。其后这位蒙

① 有关纳西尔图西的生平与工作，见 DSB/Tusi/Nasr 以及下列详细论述：Al-Tusi/Ragep 1993，pp. 3－23。

古大汗更采纳他的建议，批准在首都马拉噶建造天文台，由是继承阿拔斯、布伊德、塞尔柱历代政权赞助学术的传统，招揽四方学者，发展出蓬勃的科学研究中心。这是1262年的事情，也就是“马拉噶学派”之由来，当时欧洲中古大学已经蓬勃发展多时，科学研究也复兴了。

很自然地，这个学派的主要课题是天文学。但它并不以历算为满足，而着力于托勒密天文学的批判与改革[①]。至于批判方向则和安达鲁斯天文学家不完全一样：它集中批判托勒密天文模型放弃了最基本原则，即所有天体运动都应该由均匀圆周运动构成这一点；改革方向则是要根据此原则建构新天体运行模型。这建构是以纳西尔图西下列发现为基础的：在半径为R的大圆内倘若有半径为r的小圆滚动，那么小圆上任何定点P的轨迹是滚轮线；但倘若 $R=2r$，则滚轮线变为大圆的直径。换而言之，直线运动可以用两个均匀圆周运动组成，这就是肯尼迪所谓的“图西双轮”（Tusi Couple）机制[②]。凭借此机制，可以建构严格依循前述“圆形组合”原则的新模型，而它们能够重现托勒密“曲轴本轮模型”（见第七章附录）最主要的效应，甚至比之更为完善。以上的批判、机制与模型都是图西在其主要著作《天文学论集》（*al-Tadhkira fi*ᶜ*ilm al-hay'a*）[③] 首先提出来（图版6），并且在以后三个多世纪间为许多天文学家包括哥白尼所采用，因此，他可以说是带领天文学者在托勒密系统以外重新找寻起点的第一人。

除此之外，才大如海的图西还有将近150种专著。他不但对《几何原本》、《大汇编》以及居间的重要数理科学典籍，如阿里斯它喀斯、阿波

---

① 最早详细讨论马拉噶学派核心工作即其天体运行理论的是肯尼迪，见其论文：E. S. Kennedy，“Late Medieval Planetary Theory”，*Isis*，1966，Vol. 57，3，No. 189，该文嗣收入 Kennedy 1983，pp. 84-97；并见沙理巴的详细论述：Saliba 1994，pp. 245-290。

② “Tusi Couple”的名称最先由肯尼迪在前注所引文章提出来，原意指两个以不同角速度旋转向量之“耦合”，我们译为“双轮”是指以两个均匀圆周运动产生直线运动的机制。此机制最早其实是为处理托勒密天文系统有关行星运动的复杂纬度变化而发展出来，见 Saliba 1994，p. 272，pp. 150-160。

③ 此书有下列阿拉伯文与英译对照本：Al-Tusi/Ragep 1993。此书前后附有长篇导言与注释。

隆尼亚斯、阿基米德、狄奥多西、曼尼劳斯等作了详细评述（这些都成为标准教科书），而且在天文学、数学以及化学上还有大量原创性贡献。这些包括：他领导马拉噶天文学者编纂的《伊儿汗数表》（*Zij Ilkhani*）；前面已经提及的有关欧几里德第五公设之"证明"与讨论（§8.2）；继阿布瓦法、曼苏尔和比伦尼等将三角学发展成独立数学学科，以及平面"正弦定理"的准确与清晰叙述；提出利用二项定理（binomial theorem）求整数任意高次方根的方法；矿物学和化学研究，包括札贝尔和拉齐金属二元构成说的发扬。在科学领域以外，图西的逻辑、哲学、伦理学和宗教著作也同样重要：他不但被公认为阿森维纳以后的哲学第一人，而且更是什叶派最主要的神学家，其《神学要义》（*Tajirid al-kalam*）为此派系统神学的经典。统而言之，在科学与宗教两方面他都可以说是罕与伦比的。

马拉噶天文台的兴衰

在图西主持下，马拉噶天文台吸引了大批人才，他们共同工作最少有十余年之久①。这些学者中最引人注目的，当是他的学生库图阿丁（Qutb al-Din al-Shirazi，1236—1311），以及后者的学生卡玛阿丁（Kamal al-Din al-Farisi，1260—1320）。库图阿丁出身于伊朗西南部设拉子地区的医生世家，少年丧父旋即承接其职位，十年后开始周游各地，寻访医道名师，并加入苏菲神秘主义教派（Sufism）；1262 年赴马拉噶师从图西，研习天文学与阿维森纳哲学，以迄 13 世纪 70 年代末②。此后他再度潇洒周游，重拾医学旧业与苏菲教义的探讨，并一度为伊儿汗出使埃及，最后在马拉噶以北的塔布理兹隐居著述 14 年之久以终老。他名声稍逊乃师，但也卓然成家，在数理天文学、医学，以及哲学、苏菲教义等各方面都有大量著作。对我们来说，他最重要的工作当是在乃师指导下成为《伊儿汗数表》编纂队伍的核心人物，并且利用"图西双轮"机制来实际建构月球、水星等多个天体的运行模型。这虽然并非完全成功，却开辟了这方面的思

---

① 有关马拉噶天文台部分萨伊利的伊斯兰天文台史考证綦详，见 Sayili 1960，pp. 187 - 223。

② 库图阿丁的生平与工作见 DSB/Qutb al-Din al-Shiraz/Nasr。

路。此外他对于光的物理学特别感兴趣，认为光是宇宙间一切运动的泉源；至于他为阿维森纳《医典》所作评注更是搜集与参考大量典籍之后，穷毕生之力所成。

卡玛阿丁的生平事迹不详，从时间上看来他师从库图阿丁时间很短暂，只可能是在1275—1280年期间，但这对于他影响很大，因为后者提到海桑的《光学汇编》，为他从远方搜罗到此书手稿，并指示他为之作评注，这影响了他一生学术方向①。卡玛阿丁以光学研究知名。他最重要的贡献是对彩虹的成因作出正确解释，即其为阳光在悬浮空气中的微细水滴里面经过两次折射和一次内部全反射而形成；他更曾经以球形水瓶做实验以证验这种想法。这是独立发现（但很可能与乃师库图阿丁有关），时间上与德国的西奥多里克（Theodoric）大致同时甚至可能更早一些（见§10.4），但推源溯本，两人的发现其实都是建立在海桑的工作上②。此外他对海桑全部著作特别是其《光学汇编》的评述和修订也是非常重要的工作；在数学方面，他的重要贡献是促进了算术基本定理（即任何整数的素数因子分解为独特）的证明③。

除此之外，马拉噶学派还有两位与图西同辈的学者：乌尔狄（Muayyad al-Din al-Urdi，卒于1266）和马格列比（Muhi al-Din al-Maghribi，1220—1283）。乌尔狄是来自叙利亚的著名建筑师，曾经负责大马士革供水系统，对建造天文设备也有经验。他在1259年来马拉噶，全面负责天文台以及其观测仪器的建造，1262年完成，并且留下设计的详细记录，使我们得知其规模与精确程度。这是当时最先进的设施，欧洲大概要到16世纪末的第谷天文台才能够与之相比。至于马格列比则是来自西班牙或者摩洛哥的数理天文学家，也曾经在叙利亚工作，在1262年由旭烈兀礼聘至马拉噶。他作过天文观测，留下了一份手稿，其中详列1262—1274年间该天文台的观测记录。他的专长是三角学，以论述曼尼劳斯定理以及精确计算

① 卡玛阿丁的生平与工作见 DSB/Kamal al-Din/Rashed。

② 见下列有关彩虹研究历史的专书：Boyer 1987，特别是 pp. 110 - 130。

③ Rashed 1994，pp. 287 - 299。

1°的正弦（这是编制正弦数表的基础）而知名；此外他对欧几里德的《几何原本》、阿波隆尼亚斯的《圆锥曲线》以及狄奥多西和曼尼劳斯的《论球面》都有评述①。

图西在1274年去世，他的学生库图阿丁在1280年前后离去，马格列比不久之后也去世，因此，第一代马拉噶学者相聚前后大约不及二十年（1262—1280）。但在他们之后，马拉噶天文台的工作并没有立即中断，而又再继续大约二十年，即至1304—1310年间为止。其时学养渊博的合赞汗（Mahmud Ghazan，1295—1304）已经去世，汗国开始衰微。在天文台的后二十年图西的两个儿子先后继承了台长位置。由于这是个庞大学术体制：它不但有完善的图书馆、受薪学者、技术人员队伍，还有许多学生，数目可能在百人以上，因此需要充裕和稳定的经费方才能够维持运作，经费来源无疑就是图西所负责管理的慈善基金。在伊斯兰体制中这是供养教育、文化、医疗、救济等社会体系的主要资源，而且负责人往往世袭。换而言之，图西由于赢得旭烈兀的信任，因此其家族得以掌握伊儿汗国最重要的社会资源，马拉噶天文台能够蓬勃发展将近半个世纪之久其秘密即在于此。

哥白尼的天体运行模型从哪里来

马拉噶学派的殿军是大马士革的沙提尔（Ibn al-Shatir，Ibn ash-Shatir，1304—1375）。他幼年丧父，由祖父抚养成人，约十岁赴埃及学习天文与数学，后来回到大马士革在乌美亚派的清真寺供职，一直升到首席“司辰”（*muwaqqits*，“time keeper”）。他这位置与图西的地位，即君主所宠幸的官方天文学者兼星占师，有绝大不同：它是属于民间宗教体制的天文专职人员，而且工作性质与星占学无关。所以科学史家如沙理巴认为，这是作为自然科学的天文学终于进入伊斯兰主流文化，而不再从属于宫廷体制的标志②。另一方面，虽然沙提尔赶不上亲炙马拉噶学派鼎盛时期那批人物，

---

① 有关马格列比，见 DSB/Muhyi al-Maghribi/Tekeli。

② 沙理巴是首先指出这趋势重要性的学者，见 Saliba 1994，pp. 32－37。

也从未在该天文台工作，但他在所编纂的《新天文手册》（*al-Zij al-jadid*）序言中，宣称深受海桑以及图西、乌尔狄、库图阿丁、马格列比等学者影响，特别是他们的托勒密批判以及他们所建构模型之影响；而他自己的工作也正是要补足他们尚未臻完善的理论。因此，他可称马拉噶学派的殿军，亦是伊斯兰天文学理论的殿军①。

沙提尔所留存下来的最重要作品有两部：讨论其天体模型建构思想的《正确行星理论之总结研究》（简称 *Nihayat al-sul*），以及上面提到的《新天文手册》，它详列了他前述模型所用的基本参数，以及由是计算所得的日、月、五行星等天体运行数据。这两部作品的重要性在于：肯尼迪等天文史家在 1960 年代的仔细研究显示，哥白尼《天体运行论》中的模型结构、参数，乃至图解都与沙提尔的相同，而且他们都应用了前述的“图西双轮”机制；所唯一不同者，只是哥白尼不再以地球，而是以日为宇宙中心，所以要将模型图解中许多向量的方向倒转而已。因此，沙提尔与哥白尼模型所预测的天体运行位置实际上也相同。无怪肯尼迪等说，“倘若要假定后来的天文学家（作者注：即哥白尼）是在对于前人工作完全无知的情况下做研究，那未免太过分了”。② 而天文史家施瓦罗（Swerdlow）与奈格包尔也认为：“问题不是他有没有，而是何时、何地，以何方式知悉马拉噶理论”；“可以非常切实地把哥白尼视为马拉噶学派最著名的，倘若不是最后一位追随者”。③ 这是个震撼性发现，它无可置疑地证明，欧洲不但从伊斯兰文明承受了代数学、三角学、光学、化学，而且，即使就促成现代科学出现最为关键的数理天文学而言，欧洲也继承了伊斯兰的天体运行体系结构。

---

① 关于沙提尔见 DSB/Shatir/King，该传记有《手册》序言的全文翻译。贝鲁特的伊斯兰科学史家肯尼迪（Edward S. Kennedy）及其门生、朋友，曾经在五篇论文中对沙提尔的日月和行星理论及其对哥白尼的可能影响做详细讨论，该组文章嗣收入 Kennedy et al 1983，pp. 50 – 97；其最新综合论述见 Saliba 1994，pp. 233 – 241。

② 见 Kennedy et al 1983，pp. 61 – 62，96 – 97；Saliba 1994，pp. 254 – 256。

③ Swerdlow and Neugebauer 1984，i，pp. 47 – 48，295.

九、撒马尔罕的辉煌成就

马拉噶的传统到沙提尔就中止了，但伊斯兰科学并没有就此结束，因为马拉噶还有后继者，即15世纪的撒马尔罕学术中心与天文台，那才是伊斯兰天文学的尾声。

草原上的高等学府

帖木儿（Timur，1336—1405）是今日乌兹别克地方宗奉伊斯兰教的突厥蒙古人，原来生活于察合台汗国治下，但在壮年自立崛起，以撒马尔罕为首都，率领铁骑横扫亚洲广大腹地36年之久，除了中亚大草原以外，还征服印度、伊朗、伊拉克、叙利亚与奥图曼土耳其，却在1405年雄心勃勃地进军中国时突然于途中去世。帖木儿虽然戎马终生，但雅好艺术，优待匠人，在今日撒马尔罕仍然有当时优美建筑的遗留。他的庞大帝国结果由第四子陆克王（Shah Rukh）继承，陆克将首都迁移到阿富汗西北角上的哈剌（Herat），也同样在彼培植文化艺术；同时，他将原来的都城撒马尔罕和邻近地区赐予年方十四的爱子兀鲁伯（Ulugh Beg，“大亲王”之意，本名反而不彰，1393—1449）治理，从而为伊斯兰天文学最后的辉煌创造了条件。

兀鲁伯自幼在帖木儿军帐成长，他无意于政治、军事，但在文才方面比上辈有过之而无不及，不但雅好诗歌、经典、历史，而且还是认真的数理天文学家——这可能与他幼时到过马拉噶天文台遗址有关。他在1417年开始建造一所高等学院（*madrasah*），三年后落成[①]。这种学院本来是培育教士、学者和治国人才之所，课程以教义、神学为主，科学、哲学等只属辅助性科目，但兀鲁伯却反客为主，将它办成一所以数学和天文学为主的科学研究所，而且亲自延聘教授，更积极参加院中的学术研究和讨论。这在以保守著称的伊斯兰教育体制中，真可谓极其难得的异数。在

① 有关兀鲁伯见 DSB/Ulugh Beg/Kari-Niazov。

1424年兀鲁伯更开始建造一座宏大的圆形天文观象台，四年后落成。它直径50米，高3层，共35米，此台最主要的仪器是一个直径40.04米，宽2米，弧度为60°的巨型六分仪，其上刻度每1°相当于70.2厘米距离，也就是每5″相当于1毫米距离，而此刻度就大略相当于经过训练的肉眼所能够分辨的角度之极限（约2″—5″）。除此之外，台中尚有象限仪、浑天仪、大星盘等辅助性仪器①。

撒马尔罕学院与天文台产生了丰硕成果，这些都收集于集体编纂，发表于1437年的《古尔干数表》（*Zij-I Gurgani*，Guragon为兀鲁伯的称号）之中。此表内容广泛，既有实际天文观测数据，也有理论与计算结果，其中最重要的有以下几项：(1) 一部包括992颗恒星的崭新星表，它主要是根据天文台的原始观测而订定，但在结构、体例与数据上仍然沿袭前人，无论如何，这是自喜帕克斯和托勒密以来的首部原创星表。(2) 一部八位(即准确至10^{-8}) 三角数表，其中正弦和正切函数每隔1′列出；此表的计算基础是，通过某相关三次方程式的近似解，获得高度精确的sin 1°之值，即0.017452406437283571，这比之现代值准确至4×10^{-15}。(3) 与日月行星有关基本数据的精确测定，例如黄道面倾角（23°30′17″，比当时真值只差32″）；旋进率（每年51.4″，误差1.2″）；回归年长度（365日5时49分15秒）；至于所测定各行星（水星除外）的每年黄经运转度数（12°—224°左右）比现代值相差也只有2″—5″而已。

不幸，兀鲁伯的开放文化观念与学术政策自始就和当地虔诚而保守的什叶派教士格格不入，只不过由于父王及其宫廷教士支持才得以畅行所欲。1447年陆克王去世，两年后他就在亲生儿子被挑唆而发动的政变中倒台，更惨被斩首处决，后来得以以殉道者冠服敛葬于帖木儿的墓中。

风云际会的英才

兀鲁伯以弱冠年龄能够成功创办高等学院与天文台，主要得力于两

---

① 有关撒马尔罕天文台的历史、建筑与仪器，见Sayili 1981，pp. 260－289。

位学者悉心辅助。第一位是来自奥图曼帝国古都波沙的卡迪札达（Qadi Zada，“法官之子”之意，本名不彰，1364—1436）。少年时代他在本城跟随名师学习几何学与天文，40岁以后到伊朗与中亚游学，大约在1410年晋见当时年方十七的兀鲁伯，十年后高等学院落成，即被任命为院长以及数学与天文学教授，兀鲁伯亦经常亲临听课。从此可以推测，卡迪札达是负责筹划建立学院的主脑，甚至对此意念本身也可能起过推动作用。他著有数部教科书和评注，包括图西天文学论文的评注，但原创性工作不多，主要是独立发展了计算 sin 1°的数值方法，其结果与卡西的相符①。

撒马尔罕学者群中最重要的无疑是卡西（Jamshid al-Kashi，1380 - 1429）②。他出生于卡尚（Kāshān），一个介乎德黑兰与伊斯法罕之间沙漠边缘上的穷困小城，自幼研习数学与天文，年轻时代行医为生，同时继续天文学著作，将之奉献给各地方藩王以寻求资助。他在1420—1424年间为兀鲁伯聘请到撒马尔罕，后来很可能成为天文台的首任台长——但这不是很确定。无论如何，他的卓越数学才能迅速得到赏识，与卡迪札达一道成为最受器重的学者。他自视甚高，在致老父的家书中对学院中人物多有评论，但除了兀鲁伯与卡迪札达两人以外，其他六十多位学者几乎没有能够得到他首肯的③。

伊斯兰科学的殿军

卡西继承了柯洼列兹米、卡拉吉与善马洼的计算数学传统。除了参加前述《数表》的编纂以外，他的原创性工作最突出的有两项。首先，他在1424年7月完成了《圆周论》（*al-Risâla al-muhîtîyya*），在其中他计算 2π 到六十进制的9位，并且将之转为十进制的小数16位，其精确

① 有关卡迪札达，见 DSB/Qadi Zada/Dilgan。

② 有关卡西的生平与工作，见 DSB/Kashi/Youschkevitch & Rosenfeld，以及 Kashi/Kennedy 1960，pp. 1 - 9。至于有关他作为卡拉吉学派传人及其对于欧洲学者的影响，见 Rashed 1994，pp. 127 - 134。

③ 此家书内容在 Kashi/Kennedy 1960，pp. 3 - 5 有详细描述。

初次超过（而且是远远超过）千年前祖冲之父子在《缀术》中所得到的数值（小数7位）；至于欧洲数学家超越此成绩则要待两百年后，即17世纪初。这是一项令人震惊的成就。他的计算方法基本上仍然是以内接和外切多边形来逼近圆弧，但要达到上述计算精确度，则要用 3×2^{28} 即805 306 368边形来计算，这是绝对不可能以阿基米德旧法完成的。他成功的关键在于证明下列定理：$\sin(45°+\varphi/2)=[(1+\sin\varphi)/2]^{1/2}$；然后借此定理找到效率比前人高得多的求多边形边长的递归方程式。凭此方程式，他的计算原则上只需要反复开方多次就可以了。不过，在实践上这仍然非常艰巨：它要求反复开方达28次之多，以求得极小的正多边形边长，然后将之与前述的极大边数相乘，整个过程需要保证最后结果准确到小数后16位——我们不可忘记，今日的普通手持计算器一般也只有10位而已。他的另外一项重要成功是前述的精确计算 sin 1°，那同样准确到小数16位。这基本上是先以三角学的差角与半角公式从 sin 60°和 sin 72°推求 sin 3°，然后以三分角方程式（这是一条三次方程式）来决定 $x=\sin 1°$。他这项计算可能在他临终前才完成；也有一说是，最后结果在他身后由卡迪札达协助完成①。

但卡西最重要、对后世影响最大的著作，无疑是1427年3月完成的《算术示要》（*The Key to Arithmetic*, *Miftâh al-hisâb*）。这是一部庞大、全面，包括大量算题的计算学教科书，共分五卷，分别讨论整数、分数、天文计算、平面及立体测度；以及一次、二次和二元方程式。它最突出的贡献大致是以下两个方面：一是，在计算学上最根本的，是继卡拉吉与善马注之后有系统地发展十进制分数，即今日通用的小数，并且显示这与六十进制基本相同。他的方法通过伊斯坦布尔和维也纳在16世纪中叶传入欧洲，这很可能就是16—17世纪之交的维艾特（Viéte）和斯特文（Stevin）提倡十进制分数之渊源。二是，提出了整数 x 开任意次方 n 的近似解，即所谓"Ruffini-Horner"法：倘若 $x^{1/n}=a+\varepsilon$，其中 a 是最大可能的整数，那

① 以现代数学水平衡量，这两项计算显示了惊人的巧思，但不算很复杂。详见 DSB/Kashi/Youschkevitch & Rosenfeld。

么$\varepsilon \approx (x-a^n)/[(a+1)^n-a^n]$。

卡西的工作是否曾经受中国数学的影响颇为值得注意，因为十进制是中国传统数学所自古通用，而且远在卡西之前的北宋贾宪与南宋秦九韶都已经发展出相当于 Ruffini-Horner 的开方（包括求方程式近似根）法；更何况，我们确切知道，在 13 世纪中叶元朝与伊儿汗国的学者互有来往：在建立马拉噶天文台的时候旭烈兀就征召了中国天文学者来提供协助；而大汗忽必烈在登基前后也曾经召见元代天文学家李治、刘秉忠以及一位称为札马阿丁（Jamal al-Din）的伊斯兰天文学家①。不过，这些都只能够视为线索而已，确切的直接证据恐怕还不容易找到。

卡西可以说是伊斯兰科学传统中最后一位杰出人物，此后就再也没有能够如他那般有开创性贡献的科学家出现了；同样，在伊斯兰文明中撒马尔罕天文台也成为绝响。诚然，150 年后奥图曼帝国的苏丹穆拉三世（Murad III，1574—1595）在其天文学导师塔基阿丁（Taqi al-Din）游说下的确下令建造了一所天文台，它在 1577 年落成，但三年后即 1580 年就由于向来极端保守的“大教长”（*sheikulislam*）之反对而摧毁，它虽然留下有关仪器、人员的记载，却没有任何学术成绩留存②。

十、伊斯兰科学为何没有现代突破

科学在伊斯兰文明中生根、发芽、滋长、壮大，结出丰硕果实，前后

---

① 见 Sayili 1960，pp. 191－193，206－207。

② 此处有关伊斯坦布尔天文台的论述，特别是其只有三年寿命（1577－1580）这一点，是根据萨伊利的《伊斯兰天文台》一书中详细、清楚注明出处的记载，见 Sayili 1960，pp. 289－305。但伊山努格鲁对此持不同说法，即塔基阿丁在 1573 年就开始在此“新天文台”作观测，因此它最少有八年寿命，见 Ihsanoglu 2004，III，pp. 19－20。但后者的说法有明显的内在矛盾，因为他承认塔基阿丁在 1570 年才到伊斯坦布尔，天文台是穆拉三世登基后才批准建造，而登基是在 1574 年。况且建造大型天文台（他强调该天文台的规模和主要仪器可以比美差不多同时的第谷天文台，即丹麦的乌兰尼堡）颇需时日，乌兰尼堡就花了最少三年。因此，伊斯坦布尔天文台在 1574 年批准，在 1577 年落成是合理的。当然，在大天文台批准建造之前，塔基阿丁很可能已经在附近的专用建筑物中用小型仪器开始作观测，这当是 1573 年之说的来源。

延绵七个世纪之久（750—1450），而且在此期间最后三个世纪与欧洲中古科学并驾齐驱，平行发展。因此，它在伊斯兰民族中所激发的热情与创造力是毋庸置疑的。既然如此，那么我们就不能不面对一个大问题了：在15世纪以后，伊斯兰科学为何不能够继续往前发展，为何不能够产生它的哥白尼、伽利略和牛顿，逼出它自己的突破性革命，却反而迅速衰落以至式微？在伊斯兰与西方文明之间，是何种差别导致了科学这两种迥然不同的命运①？

科学与宗教的冲突

萨伊利（Aydin Sayili）和其他不少学者指出，这其中最主要的原因当是科学与宗教的冲突。它最直接，也最受注意的表现，是保守教士对于哲学与科学的攻击，例如伽札利对哲学家的攻击；阿威罗伊之受审判与屈辱；以及伊斯坦布尔天文台在大教长的反对下被拆毁。这样激烈的直接与公开冲突并不多见，但它其实不断在间接、微妙而广泛得多的层面发生作用，其后果是自然哲学始终受到压制，而从来未能够在伊斯兰社会生根，成为社会意识与体制的一部分，始终只能够是君主翼卵下的“宫廷现象”。

当然，如沙理巴所着意指出，这看法不完全正确，因为沙提尔就是大马士革清真寺的首席“司辰”。不过，在我们看来，在找到更普遍的证据以前，这独特例子恐怕只能够说明“宫廷现象”有明显例外，却还不足以否定这观点本身。事实上，本章所提到的绝大多数科学家都是在历代帝国、政权，如阿拔斯、布伊德、伽兹南、塞尔柱、法蒂玛、科尔多瓦、蒙古等等的哈里发、君主、大汗、诸侯之赞助和回护下工作，其他少数则凭藉家世或者行政、法律、医药等专业为保障，像沙提尔那样托庇于社会体制之内的，是极其稀罕乃至绝无仅有的现象。

---

① 此重大问题在萨伊利论著的附录 II 有详尽探讨，见 Sayili 1960，pp. 407 -429。以下的讨论与萨伊利有部分相近，但并不相同，在涉及奥图曼民族历史的时候尤其如此。此外沙理巴的近著亦对此关键问题的旧说加以反驳并提出独特见解，见 Saliba 2007，Ch. 7。但他的观点我们不能苟同，相关讨论见本书“总结”部分第三节。

欧洲大学与伊斯兰学院的对比

那么，排斥、抗拒科学和哲学的，到底是伊斯兰体制的哪一部分呢？萨伊利指出，最显著的就是“高等学院”（*madrasah*，*medrese*）本身，它是伊斯兰学术与教育体制核心，是培养教士、法官、行政人才的最高学府。而这长期为守旧法理学家所把持的大本营，正是始终排斥、压制希腊哲学与科学的堡垒，是培植守旧思想和历代“大教长”的温床。当然，兀鲁伯以亲王、城主之尊，的确可以用权势将撒马尔罕高等学院办成科学研究所，但那毕竟是令人侧目的例外，是倒行逆施的做法：他在父王驾崩之后就无法控制局势，而被推翻和斩首。在此之外，我们就很难找到其他高等学院产生重要科学家或者突出科学成果的例子了①。

相比之下，欧洲的大学则完全不一样。如以下两章所将指出，欧洲大学的性质在最初虽然与伊斯兰高等学院相似，而且也同样发生过宗教与学术之间的冲突，这包括亚里士多德哲学被禁止讲授，著名神学家如阿奎那在身后间接受谴责，以及主教乃至教皇之多次企图控制大学，等等。然而，冲突的最终结果却是教会权威被迫退缩，大学在教学和研究上得以保持独立。因此之故，本来是教会体制一部分的欧洲大学，后来却蜕变为培植哲学与科学，令它得以成长与传播的重要体制。而且，在中古早期，大量罗马教会的教士，甚至居高位的助祭、主祭、主教、大主教，同时也仰慕、研习科学，甚至成为科学家。换而言之，宗教与科学之间虽然有冲突，但这并不能够阻止科学渗透、影响教会，甚至反过来利用教会资源与人才而在其体制内部发展。

更深层原因何在

不过，欧洲大学在兴起之初至少在表面上是与伊斯兰高等学院极其相

---

① Peters 1968，pp. 71 －78 对此有相同观点和更直接的论述。其中最重要的一点就是，在伊斯兰体制中哲学的传授完全是在公共教育体制以外，通过师徒相传的个别方式进行，而像阿维森纳那样的哲学、神学大师，其著作、学说也仍然没有体制性的认可和支持。

似的：前者本来也同样是依附于宗教体制即所谓“座堂”的学校，也同样以法律与神学为主，至于文理科即“七艺”只不过是其基础课程。另一方面，伊斯兰高等学院的基础课程在后期也同样包括文法、逻辑、哲学、数学乃至天文学，所以说它“排斥”科学也还不完全准确——只不过是科学始终未能在学院中发展成为重要独立科目而已。事实上，萨伊利以及研究伊斯兰教育体制的马克迪西（George Makdisi）都指出，伊斯兰高等学院根本就是欧洲大学之中“书院”体制的原型，而且这观点也为研究大学历史的西方学者在相当程度上认同①。但倘若如此，那么显然真正的，萨伊利所未曾触及的核心问题就变为：何以科学在这两个高等教育体制中有如此不同命运？或者，更应该追问的是：何以上述两种本来相类似的宗教学校在后来却有如此不同的发展，即欧洲座堂学校蜕变为多元、具有高度独立性的学术教育机构，而伊斯兰高等学院则始终未能脱离原来形态，即笼罩于宗教“法理学”之下？

决定两种教育体制精神的关键

这是个相当困难的大问题。我们的看法是，这与两个文明最初的传统有关。也就是说，伊斯兰文明的渊源与核心是伊斯兰教，它深刻、广泛、不可逆转地影响所有相关民族与民众，成为他们在心理和意识上最深层而牢不可破的本能，或曰基因。对于他们来说，希腊哲学与科学虽然高妙，却只是外来的、后起的知识，它可能激动精英分子甚至君主，但对于广大民众却从来未曾发生过决定性的影响。这个观点最直接的证据就是9世纪初所谓“正统运动”之失败。当时从梅尔夫入主巴格达的马孟哈里发深受希腊哲学熏染，思想倾向于崇扬理性与个人独立见解，他不但大力赞助翻

---

① 麦迪西的专著《学院之兴起》即 Makdisi 1981 对于伊斯兰高等学院的起源、理念、历史以及其与欧洲中古大学之间的关系有详细考证与辨析。其他西方学者现在一般都接受，西方大学体制的某些元素，例如颁授学位和设立书院的制度，本来是从伊斯兰世界输入。见 Ridder-Symoens 1992，p. 8。麦迪西对于 *madrasah* 学院种种制度如何影响欧洲中古大学的论述，尚见 Georoge Makdisi，“On the Origin and Development of the College in Islam and the West”，in Semaan 1980，pp. 26 - 49；以及他另一部专著《人文主义之兴起》即 Makdisi 1990，特别是 Pt. I，Ch. 3。

译运动，而且支持有相同取向的穆泰齐拉教派（Mutazilites），甚至一反伊斯兰教尊重个人可自由解释教义的传统，以类似于宗教审裁（Inquisition，*Mihna*）的高压手段推行尊奉理性精神的教条（其中最根本的是《古兰经》为创造出来而非本来存在），要以此为正统。他的这一运动造成了激烈对抗，经过四代哈里发和 15 年（833—848）之久的尝试，它终于因为民众的广泛抵抗而宣告失败，传统主义获得最后胜利。此后再经过将近两个世纪的发展、抗争，传统主义终于因为卡迪尔（al-Kadir，991—1031）哈里发所正式颁布的"信条"而获得普遍确立，自此所有高等学院亦莫不以此为其"法理学"的基本精神。此精神的核心是：伊斯兰教所注重的并非理性神学（*kalam*），更不是哲学（*falsafa*），而是如何通过《古兰经》与先知言行记载来对神的指令和禁令作具体解释——高等学院所教授的，基本上就是这种性质的法理学（*fiqh*）。虽然理性主义后来也仍然通过各种方式慢慢地渗透到学院中，但它所能够影响的只是枝节问题，而再也未能触动这一精神的基本控制力量①。

因此，伊斯兰高等学院的宗教性与保守精神是根深蒂固于民众意识之中，而非外来思想甚至数代哈里发的力量、政策所能够改变的。当代土耳其科学史家伊山努格鲁（Ekmeleddin Ihsanoglu）说得很清楚，很直接："（况且，）这是大家都熟知的事实：在伊斯兰教育史上，高等学院（*medrese*）的创办纯粹是为了传授宗教知识（religious science），特别是法理学（*fiqh*）。像欧洲大学中所发生的那种专业发展从来没有在高等学院出现。"（他接着指出，只有医学是例外。）② 我们认为，只有从此角度才能够理解，为什么立足于民众力量的高等学院始终没有产生如阿维森纳、图西、阿威罗伊那样的精英知识分子，而且这些名震一时的伊斯兰知识分子对学院也没有

---

① 对此重大争论及其影响的论述，见 Makdisi 1990，pp. 5 - 15。此外，纳塞尔对伊斯兰教育体制也有整体论述，见 Nasr 1968，pp. 64 - 88。他所描述的是一种自由、开放的体制，在其中师徒关系很重要，而个别有恒心、毅力的学子追求科学和哲学知识并无阻碍。在我们看来，这在个别情况下可能的确如此，但它是否足以说明"高等学院"这一体制的整体趋向和气氛，则颇有疑问。

② Ihsanoglu 2004，Paper VI，p. 51.

发挥影响——正相反，能够激励、鼓动这些学院的，除了它所传授的法理学以外，反而是苏菲神秘主义，以及各种地方宗教派系[①]。因此，宗教信仰的抑制，当是伊斯兰科学未能进一步发展与获得突破的关键因素[②]。

另一方面，在欧洲传统之中，哲学与宗教出现的先后次序正好相反：希腊文明及其科学、哲学，还有罗马文明及其法律，都是具有悠久历史与广泛影响的早期传统，是深刻影响其民族意识的文化基因，反而基督教则是外来、后起，而且必须从原有文化吸取养分的信仰。基督教由于君士坦丁大帝的改宗而得势，并且广为传播之际，这两个传统已经有八百年以上历史了。因此中古基督教虽然声势浩大，并且与政治、社会、经济体系盘根错节相结合，又牢牢控制了广大民众的心灵，最终却也不能不在无形中对此根深蒂固，而且包含精奥思想的古代学术大传统让步。这样，欧洲翻译运动不待君主的鼓励推动而自然在民间爆发，欧洲中古大学形成之初就有极其强烈的哲学与科学气息，就不可遏制地掀起亚里士多德和科学热潮，而且许多教士、主教也同样成为热切的科学家，就并非那么难以理解的事情了[③]。

---

① 有关伊斯兰高等学院与苏菲神秘教派和地方教派运动的密切关系，见 Hodgson 1974，ii，pp. 438 – 445 和 Lapidus 2002，pp. 133 – 146；有关奥图曼帝国的高等教育以及科学发展之整体论述（包括 13 – 19 世纪），见 Ihsanoglu 2002，ii，Ch. 8 – 9。

② 沙理巴对此有完全不同的看法，见本书“总结”第三节。

③ 格兰特在 Grant 1996，pp. 176 – 186 也谈及相同问题。他强调的是，基督教教父与伊斯兰教教长对自然哲学的迥然相异态度，是由于两个宗教早期处境的不同造成。基督教在出现之初长期处于被压迫、攻击的地位，因此必须与原有的希腊、罗马哲学论辩、对话，从而与这些“异邦学术”达成某种程度的了解、妥协，自然哲学因此成为基督教传统的一部分。但伊斯兰教就完全不一样：它在短短的一个世纪就扩张成为庞大的帝国，而且在此过程中完全没有遭遇到竞争，因此缺乏与其他学术或者思想体系对话、妥协的传统，它的强大保守性即由此而来。这与我们的观点并无冲突，只是侧重点颇不一样。

第九章　欧洲文化复兴

西罗马帝国灭亡后欧洲陷入了长达五百年（500—1000）的大混乱时期：北方蛮族不断汹涌而来，在其冲击下古代文明残破，文化水平急剧降低，重建稳定政治秩序的多次尝试也都归于失败。欧洲从这一混乱状况复苏，文化整体面貌发生大改变，基本上是以12世纪的翻译运动和大学出现这两件大事为转折点，那就是所谓的“12世纪文艺复兴”（Twelve-Century Renaissance）①。欧洲科学在消失七个世纪之后，得以在13世纪重新萌芽和生长，也是以此文化运动为基础。

欧洲文化复兴这一重大转机并非凭空而来，它是罗马教会自我振兴，奋发图强所产生的间接后果，而教会振兴则以罗马教皇向世俗君主所发动的一场革命即所谓“授职权之争”为契机。这场革命彻底改变了欧洲整体的政治平衡，更触发了它对伊斯兰教徒西向扩张的军事反击，从而顿挫了这数百年来的历史性趋势。意想不到的是，军事反击与随后的征服令欧洲学者得以接触古代拉丁世界所从来未真正了解的希腊文化，以及承受此文化的伊斯兰世界之创新。由此产生的刺激掀起了将阿拉伯文和希腊文典籍翻译成拉丁文的运动。大量翻译典籍的出现，转而促进经院哲学发展，教皇革命更直接引起了法学研究热潮。这些崭新学问吸引了大量学生，他

---

① “12世纪文艺复兴”观念最早由哈斯金斯在Haskins 1993（初版1915）一书提出，其后霍利斯特（C. Warren Hollister）邀请哈斯金斯与众多中古史家各自撰文讨论这一观念的意义，从而结集成Hollister 1969这部论文集；此外Brooke 1969的同名著作则从文学、哲学、艺术、宗教、社会等许多不同角度探讨此观念的多元意义及其形成之由来。

们的需求无论在内容或者总量上都远远超过传统教堂学校的承担能力。在这一巨大压力之下，学堂组织原则和形式的蜕变成为不可避免，最后促成了大学诞生。总体而言，12 世纪文艺复兴与 13 世纪欧洲科学萌芽都可以说是教皇革命所未曾预见的后果①。

一、新时代的来临

在西罗马帝国灭亡之后，法兰克人（Franks）所建立的墨洛维王朝（Merovingian，约 500—750）是文化低落，缺乏典章法度的部落政权，接续的卡洛林（Carolingian，800—888）帝国虽然励精图治，力求模仿罗马帝国规章制度，然而它所能够倚仗的，只是个别领袖的魅力和才能，以及少数学者的策划与辅佐。在社会整体缺乏深厚文化熏陶和共同政治理念，特别是在继承制度未能确立的情况下，它仍然无法持久，在一两代之后即分崩离析，复归于混乱。然而，缺乏方向其实是假象，因为在此时期有一个缓慢但具有长期累积性的运动，它最终成为沛然莫之能御的大潮流，那就是基督教传播并深入社会，以至成为欧洲的“普世性”宗教。正如古希腊科学是在毕达哥拉斯教派背景下发展起来，中古欧洲科学也同样是在基督教背景下发展起来——虽然科学与宗教之间的关系，和古代是大不一样的。

欧洲的基督教化

在公元 4—6 世纪间，由于君士坦丁大帝和其后多位罗马皇帝的崇奉及推动，基督教开始在意大利和东地中海岸发展，逐渐取代原有众多地方信仰，同时向欧洲其他部分扩散，导致高卢（大致上即今日的法国）和西班牙的蛮族王国宗奉，甚至远在西陲的爱尔兰也深受影响。然而，此时的基督教还远远说不上是“普世性”宗教，这不但因为欧洲的大部分，

---

① 对于欧洲社会在 10－13 世纪所经历之全面与深刻蜕变，守尔顿（R. W. Southern）之《中世纪的形成》有扼要和细致阐述，见 Southern 1959。

包括今日的英国、荷兰、比利时、德国等广大区域仍然受原来地方信仰的控制，而且，即使在名义上已经改宗的地区，基督教也还只不过是肤浅的表面现象，民众宗教意识和教会组织力量都非常薄弱。

从根本上改变这一状况的有三方面力量。首先，最根本的，是在罗马主教亦即后来所谓“教皇”领导之下的广泛、有系统的传教运动，以及传教成功之后的地方教会组织工作。六七世纪间的主教格里高里一世（Gregory I，the Great，590—604）本是罗马贵族，他意志坚定，能力超卓，以极大毅力与热忱开展这一运动，其首要目标就是英国。这为日后传教运动树立了典范，也大大提高了罗马主教的威望。和这一运动相辅相成的是修道院，它由于本笃（Benedict of Nursia，480—547）所制定的一套完善规制而得以蓬勃发展，并随着教会扩张而散播全欧。这为基督教提供一个超脱俗世之外的体制，成为在动乱中保存学术、文化与信仰的避难所，以及教会培养与储备人才的温床。最后，基督教传播不但有赖布道与感化，也同样倚靠剑与火。由于俗世君主无论在凝聚人心或者获得行政人才上都需要教会，特别是罗马主教的支持，因此他们愿意以手中权力作为交换，也就是以各种手段，包括威逼利诱乃至杀戮、焚烧来强迫整个民族、社会改宗。查理大帝（Charlemagne，800—814）在征服日耳曼民族时所采取的极端严酷手段就是这种策略的最佳例证。

这样，经过足足五个世纪的不懈努力，基督教终于普及也深入于欧洲。当最后一波北方蛮族即维京人和诺曼人的冲击消退之时，从噩梦中苏醒过来的欧洲已经彻底基督教化，它的政治、文化乃至意识都已经完全为基督教所渗透、浸润，两者再也无从分割了。

教会改革与振兴

欧洲的基督教化意味着教会大事扩张，但这是有代价的，因为“普世”教会自然难以脱离它赖以生存的社会、政治土壤，这就成为其堕落、分裂、丧失理想的根源。查理大帝征服和统一了西欧的大部分，但法兰克人没有嫡子继承制度，反而有很强的平分家产传统，所以他去世后这庞大帝国就分裂而始终无法重新整合。分裂后的中央部分，即今日的德国西部

和意大利北部是老法兰克王国的核心，因此它继承了“帝国”观念，到10世纪中叶，它的奥托大帝（Otto I，the Great，936—973）就采用了“神圣罗马皇帝”（Holy Roman Emperor）的称号。这有两层意义：首先，是以恢复一统帝国为长远目标；其次，则是为此要首先振兴天主教会。这像是回到查理曼帝国模式，其实不然，因为奥托诸皇帝不但致力于建立择嫡继承帝位传统，而且有意识地将四分五裂的封建领土从世袭领主转移到他们直接委任的主教亦即皇帝亲信、亲戚手中，并且逐步扩大主教的统治功能。换而言之，就是通过继承制度的常规化以及加强控制地方教会来实现帝国的客观性和延续性。这是吸取了查理大帝失败教训之后所发展的新策略，它与中国周代的封建制度不无相似，而且直至11世纪初为止，都进行得颇为顺利和成功①。

然而，当时教会本身相当世俗化，它事实上已经成为地方势力的延伸，因此在其内部出现改革的呼声，特别是要废除鬻卖教会职位（simony）和严格禁止教士违规结婚、姘居（nicolaitism），以整肃纲纪，提高教士的精神和道德力量。改革动力一方面来自埃及和南意大利的苦修传统，但主要还是来自克吕尼修院（Cluny Monastery）系统②。这修院在910年创建于法国东部，从头就有完全脱离王室、封建领主和当地主教等地方势力的管辖，直接向罗马教皇负责的传统。它其始数代领袖不但学养、才略过人，而且励精图治，潜心培养人才，因此逐渐成为声誉崇高的改革中心，为教皇和各地教会、寺院所倚重。同时，它由于各方捐赠而累积巨资，从11世纪初开始就能够在全欧洲各地大量开设分院，其数目竟一度达上千家之多。这样，克吕尼修院的庞大宗教—学术—社会网络遂逐渐渗透到各地区教会和行政系统，成为堪与王室匹敌的庞大力量。有此力量作为后盾，罗马教会也变得强大起来，心态就跟着发生微妙而意想不到的变化。

---

① 有关所谓“奥托帝国”，见Barraclough 1984，pp. 46－98。

② 克吕尼修院对于欧洲中古史的发展有决定性影响。关于其历史背景，见Hunt 1971；关于其发展过程、制度、影响以及最初几位院长，见Hunt 1967；至于其内部情况则见Evans 1968。

教皇所发动的革命

这心态变化牵涉到一个根本问题，即作为西方教会之首的罗马主教与神圣罗马皇帝之间的关系。本来，神圣罗马皇帝是始终牢牢控制罗马教会，并且根据帝国需要来选择、委任教皇即罗马主教的。这是自君士坦丁大帝以来沿袭不替的帝国传统，在东罗马帝国始终未曾改变，因此在西欧也视为理所当然，一直到雄才大略的皇帝亨利三世（Henry III，1039—1056）为止都是如此。在这种传统下，皇帝自然支持改革，因为教会是帝国工具，整肃其纲纪，提高其素质，都有利于帝国的统治与扩张。皇帝完全意想不到的是，教会改革力量壮大之后，竟然与控制、扶植他们的皇帝产生对立，更要进一步把改革扩展到政教关系这一最敏感的问题上去。由是，以封立主教的权力（即所谓授职权）到底属于神圣罗马皇帝还是罗马教宗为争端，就爆发了1073年的“授职权之争”（The Investiture Contest）。

向皇帝亨利四世（Henry IV，1056—1106）发动这场“教皇革命”的教宗格里高里七世（Gregory VII，1073—1085）个性坚强刚毅，政治手段高明。他起初就是克吕尼系统在罗马某分院的修士希尔德布兰德（Hildebrand），1049年任职教廷之后辅佐好几位教宗进行多种改革，以迄他自己登上教皇宝座。这场斗争后来发展成为历时半个世纪，回响长达一两百年之久的宗教革命。它的核心冲突是：罗马教廷宣称它不但并非屈居世俗权力即皇帝之下，而且具有判断俗世君主的权力，甚至可以通过“诏令”（bull）、“谴责”（condemnation）、“禁制教权”（interdict），即剥夺地区教士施行“圣事”的权力，以及“革除教籍”（excommunication）等手段来打击、罢黜君主、皇帝。这一冲突彻底改变了欧洲政治与宗教整体面貌，其影响之大，后果之深远，绝对不下于四百多年后的马丁路德革命①。正如16世纪宗教改革将欧洲带入近代，同样，11世纪教皇革命也是将欧洲带入中

---

① 有关授职权之争的渊源和历史，见研究此题材的专书 Blumenthal 1988；教会史 Walker 1959，pp. 195－212 对此有简要叙述；伯尔曼的巨著《法律与革命》则对此事件的法学背景、意识形态以及深远影响有深入探讨，见 Berman 1983，pp. 85－164。

古的关键事件。

教皇革命的影响

教皇革命的影响是非常深远和多方面的。首先，在政治上罗马教廷以道义力量和合纵连横手段争得了与俗世君主分庭抗礼，甚至更凌驾其上的权力，由是彻底改变了全欧洲的政治平衡。其次，数十年激烈政教论争之所需激起了整个欧洲对法学，特别是古罗马法典的讲论和研究，这为西方近代法理学奠定基础，导致意大利最早的专业法学院在博洛尼亚（Bologna）出现，同时更大大加强以“教会法”（Canon Law）为根据的教廷法制基础。罗马教会之成为“教廷”，罗马主教之成为名符其实的“教宗”、“教皇”（Pope），以及教皇选举办法之规范化，都是由此而来。

第三，在教皇革命爆发之前，教廷就已经开始以勇武好战的诺曼人（Normans）为奥援，在幕后策划、统筹、鼓吹连串对伊斯兰教徒的反击了。这些决定欧洲此后命运的重大军事行动可以这样概括：“在 1059 至 1085 年间，教廷在诺曼人支持下已经逐渐不再依赖西方俗世帝国，它一再鼓动这些新军事贵族为基督教的需要而发动战争，为他们提供号召战斗的神圣旗帜，应允牺牲的战士会得到祝福。”[①] 这些大计在 11 世纪下半次第实现，其中最重要的包括以下四方面：诺曼人以武装移民集团渡海，逐步征服长期为伊斯兰教徒盘踞的西西里岛（1060—1090）；他们在威廉一世（William I，the Conqueror，1028—1087）率领下以宗教改革名义渡海征服英国（1066）；雷翁（Leone）王国的阿方索六世（Alfonso VI，1065—1109）重夺西班牙中部商业和文化重镇托莱多（Toledo，1085）；以及从 1096 年开始的多次十字军东征。所有这些军事行动都与教廷有非常密切但除了十字军以外往往是极其隐密的关系，而且极其成功。

在大致相同时期，也许由于频繁的军事扩张刺激所致，也许还有其他

---

① 见 Douglas 1969，p. 101。此书是对于诺曼人在此军事扩张中决定性作用的专门研究，pp. 89－109 是关于教皇与诺曼人如何通过“圣战”观念而结成联盟的论述。此外并见 Haskins 1966。

不容易确定的原因，欧洲社会本身也变得非常活跃，充斥了新观念、新气象和强劲动力。这表现于大量城镇的出现，哥特式大教堂（Gothic Cathedrals）如雨后春笋般兴建，以意大利诸城邦为基地的长程海运贸易向地中海东岸以及波罗的海发展——威尼斯之成为海上商业帝国，就是从此时开始。这种社会与经济上的新活力、新气象也同样反映于文化：例如修院与大教堂即“座堂”学校的昌盛，拉丁语文能力的提高，各种学术活动，例如法学和哲学研究的增加，等等。哈斯金斯（Charles H. Haskins）将这些现象的整体称为“12 世纪文艺复兴”，以将欧洲中古与前此五百年混乱时期亦即以前称为“黑暗时代”（Dark Ages）者截然划分开来。我们在此不可能详细讨论这个非常重要、如今已经为绝大多数中古史家所接受的观念，但要指出：这“早期文艺复兴”的核心就是翻译运动兴起与大学体制形成，它们改变了欧洲文化的整体面貌，也直接导致了科学在中古欧洲诞生①。

因此，欧洲的振兴是从罗马教会振兴而来，罗马教会振兴则发轫于克吕尼修院百余年的生聚教训，养精蓄锐，而整个大形势转变的关键则在于“教皇革命”。

二、欧洲文化的传承与复兴

希腊哲学与科学震惊了从沙漠出来的阿拉伯人，使他们在 9 世纪以巨大热情投入翻译运动。三百年后，在战场上得胜的欧洲人接触到大量阿拉伯文与希腊文典籍之后，同样为其精深奥妙所吸引、折服，由是在 12 世纪掀起自己的翻译运动。它有两个特点：题材上以哲学与科学为主，这与阿拉伯翻译运动相同；不同的是，它虽然得到王室、主教支持与鼓励，但原动力则来自民间学者。因此，它对欧洲学风产生了自下而上的广泛与强大影响。这可能是欧洲科学能够持续发展的重要因素。

---

① 有关在此时期欧洲文化的整体变化，见哈斯金斯以下两部论著：Haskins 1965，Haskins 1993。

拉丁世界的文化传承

要了解这场翻译运动的重要性，首先得了解希腊和罗马在文化上的微妙传承关系，或者更应该说这传承的深刻缺陷。我们在第七章提到，希腊哲学在罗马颇受尊重，希腊哲学家成为许多政坛人物的老师，但实际上希腊哲学和数理科学的精髓始终未曾移植于拉丁世界。西塞罗翻译《蒂迈欧篇》是难得的例外；瓦罗、路克莱修、普林尼、斯特拉波以至维特鲁威等拉丁学者著作基本上都是以文学、编纂或者实用为主，说不上进窥理性科学堂奥。罗马帝国日薄西山之际，波伊提乌立志翻译希腊哲学大师全部作品，可惜壮志未酬。因此，说来令人难以置信，柏拉图的《对话录》以及“学宫”全部科学典籍，从阿基米德到托勒密，都不曾在罗马时代被翻译成拉丁文，唯一例外是《蒂迈欧篇》以及《几何原本》的部分，但后者不为人知，也没有发生显著影响①。换而言之，在公元前200—公元600年这漫长的八百年间，希腊哲学和科学始终受阻于希腊和拉丁语文之间的鸿沟。这比起伊斯兰世界对希腊学术的巨大热情来，真有天渊之别！所以，对于中古欧洲而言，翻译运动的意义并非古代学术之复兴或者失而复得（recovery），更不是“礼失求诸野”——它实实在在是古代希腊学术初次全面呈现于拉丁世界之前，所以应该称“初识”或者“发现”（discovery）才对。翻译运动对欧洲之无比重要即在于此。

当然，说“初识”也不准确，应该是“似曾相识”。在这一点上，6—9世纪间的杰出拉丁学者诸如波伊提乌、卡西奥多鲁、伊西多尔、拜德、阿尔库恩等对西方学术的贡献是不可磨灭的。他们虽然仅以编纂、修辞学、历史学见长，却都利用本身地位和影响力为古代的知识传统包括科学担起承先启后、薪火相传的责任，使得它那模糊轮廓，特别是“三艺”和“四艺”观念能够继续留存于黑暗时代的众多教士、学者心目中，令他们

---

① 关于中古欧洲所承受罗马时代的柏拉图作品之拉丁文翻译以及引用情况，见“1. Sources and Early Middle Ages”, in Gersh and Hoenen 2002；至于个别科学著作流传和翻译情况，则见 Heath 1965 的相关论述。关于波伊提乌翻译《几何原本》的问题见§7.8。

对于那个并不十分了解，也无从真切了解的古老传统保持缅怀与仰望心情。12世纪学者倘若并非仍然深藏这种向往与热诚，那么是不可能一旦接触阿拉伯和希腊典籍之后，就立即心驰神往，趋之若骛，掀起翻译运动大浪潮的。

科学的向往

其实，这种文化缅怀与向往早在11世纪，亦即翻译运动展开之前，就已经悄然升起了。它表现为研究、讲论阿拉伯科学的学者在欧洲各地涌现。他们之中最早、影响最深远的是法国学者热尔贝（Gerbert of Aurillac，945—1003）。他早年受巴塞罗那（Barcelona）伯爵赏识，得以到该地区求学，师从伊斯兰学者，遂以精通天文、算术，特别是星盘和算盘的应用知名，甚至被视为得到魔鬼传授。他回到法国后出任兰斯（Rheims）座堂主事和学堂教授（master），从四方八面吸引了大批生徒。他们后来在政、教、学各界都成为举足轻重的人物，例如富尔伯特（Fulbert of Chartres，活跃于990—1028），其弟子贝伦加尔（Berengar of Tours，999—1088），以及徒孙拉法朗（Lanfranc of Bec，1010—1089）等三代就都是名重一时的座堂学校教授。换而言之，取代修道院作为学术文化中心的座堂学校（cathedral school）传统，是在10—11世纪间建立起来的，到翻译运动前夕它已经有一个多世纪历史①。热尔贝学养深湛，见识超凡，他后来离开兰斯从政，不但协助和影响奥托帝国（Ottonian Empire）的三代开国君主，而且和法国卡佩王朝（Capetian Dynasty）兴起也有密切关系。由于奥托三世的推挽，他在999年成为第一位来自法国的教宗即西维斯特二世（Sylvester II，999—1003），可惜天不假年，他们君臣携手振兴文化的宏图并未能实现②。

我们要提到的第二位学者是半个世纪之后出现的“残障者”赫尔曼

---

① 见 Haskins 1993，pp. 24 - 35，310 - 311。

② 关于热尔贝的生平和事迹见 DSB/Gerbert/Struik，此传记对他曾经受教于伊斯兰学者这一点加以质疑。此外桑达克在其巨著中也有专章论述热尔贝与星盘和星占学的关系，其中多有引述文献中关于他的各种怪异传说，见 Thorndike 1923 - 1958，i，Ch. 30，此章并且提及以下论及的“残障者”赫尔曼。

（Hermann of Reichenau，“contractus”，1013—1054）。他出身德国贵族家庭，生来有严重残疾，行动、言语都极端不便，在修道院度过一生，但这并没有影响他的活动与成就①。和热尔贝一样，他以将阿拉伯天文学，特别是星盘、可携带日晷、附有光标的象限仪等三种仪器的原理和使用方法传入欧洲著称，并且留下有关星盘、月份长度、算盘、世界纪年史，乃至音乐、诗歌的著作七八种之多，其中关于天文学的包含大量阿拉伯术语，但我们并没有他通晓阿拉伯文的证据。

最后，在11—12世纪之交阿拉伯科学也传入英国，这很可能是由1106年改宗基督教的犹太人彼得阿方斯（Petrus Alfonsi）所促成。他后来成为继承征服者威廉的亨利一世（Henry I，1100—1135）之御医，并且留下一套以1115年为纪元的年历和行星运行数表，它和后来从阿拉伯文翻译过来的《柯洼列兹米数表》几乎完全吻合，所以其来源是没有疑问的。他的工作影响了一位在1091年从德国移居英国的修道院院长沃尔克（Walcher of Malvern，卒于1135），后者以数学和天文学著称，留下了两篇在1108—1120年间根据两次月蚀观测而编算的月球运行数表，并且提到自从11世纪开始，星盘及其应用就已经在欧洲传播开来了②。

萨莱诺的医学翻译

在科学以外，欧洲医学的复兴也是在11世纪。我们目前所知第一位欧洲医学翻译家是“非洲人”康斯坦丁（Constantinus Africanus，约1020—1087）。相传他生于迦太基，曾经花数十年工夫在北非和东方搜集医学典籍，后来由于某种原因不容于当地，遂投奔意大利南部的医学中心萨莱诺（Salerno，后来并入西西里王国），数年后（1076）更索性投入附近的卡辛诺山（Monte Cassino）本笃修道院（Benedictine Monastery，当时

---

① 关于赫尔曼，见DSB/Hermann the Lame/Kren。从记载看来，他的残疾似乎与当代物理学家霍金（Stephen Hawking）的运动神经元退化病极为相似。

② 有关阿方斯与沃尔克见Thorndike 1923－1958，ii，pp. 68－73。

为其全盛时期）做修士，由是得以澄思竭虑，尽其余生将所搜集的数十种希波克拉底、盖伦、阿巴斯阿里医典悉数翻译成拉丁文①。不过，他虽然来自北非，但如下文所会提到，欧洲第一所医学专科学校首先在萨莱诺出现则可能另有渊源，甚至医学翻译也可能由于教学需要而早已经在当地展开。但无论细节如何，康斯坦丁的翻译大业对萨莱诺大学的出现和确立有决定性影响则是没有疑问的。

三、翻译运动：兴起与高潮

欧洲翻译运动是从西班牙开始的，触发点是半岛上基督教王国于1085年从伊斯兰教徒手中收复半岛中部重镇托莱多，从而获得大量阿拉伯科学典籍，并且令许多阿拉伯学者归入其治下。此运动在12世纪二三十年代由英国的阿德拉（Adelard）展开，从40年代开始以托莱多大主教雷蒙（Raymond）资助下的一群翻译家最活跃，到五六十年代则由意大利的吉拉德（Gerard）独领风骚，但在同一时期西西里岛翻译家也不甘后人，成绩斐然。上述翻译家虽然地域各异，但时代相近，目标、经历大体相同，大概都到过西班牙、西西里或者中东，因此可以笼统地归入同一运动。在内容上，这一运动的共同特征是实用倾向——也就是说，翻译作品以数理、天文、星占学、医学为主，但也包括可以应用于神学思辨的亚里士多德哲学，特别是逻辑学，并且因此延伸到物理学、宇宙学和形而上学。换而言之，它的焦点是科学与哲学，亦即古代拉丁世界所未曾继承的希腊学术②。所以，“12世纪文艺复兴”与崇扬人文精神即古代文学和艺

① 有关非洲人康斯坦丁见 Thorndike 1923－1958，i，pp. 742－759。

② 有许多著作涉及欧洲这场翻译运动，但最重要仍然是以下三种出版多年的专著：（1）哈斯金斯的《中古科学史研究》，即 Haskins 1924——它其实是一本经过整理、修饰的论文集；（2）他的《十二世纪文艺复兴》即 Haskins 1993，这为运动提供了大背景；以及（3）桑达克的八卷巨著《魔法与实验科学史》，即 Thorndike 1923－1958（但它的侧重点并非理论科学），特别是 Vol. II，Ch. 36，38，42 & 51。除此之外，西班牙中古史如 Chejne 1974，Ch. 18 & 21，以及 Glick 1979，Ch. 8－9 也有相关资料，后者更试图从文化扩散的角度讨论翻译运动并且进行量化分析，可惜在组织和观点上显得颇为混乱。

术的 14—15 世纪“文艺复兴”是截然不同的①。

西班牙形势的逆转

基督徒收复托莱多是西班牙半岛上形势逆转的关键，这是怎样发生的呢？本来，10 世纪是伊斯兰在西班牙的黄金时代，由阿都拉曼三世所开创的西班牙乌美亚皇朝以科尔多瓦为都城，政治开明，商业繁盛，对基督徒、犹太教徒一体宽大，对于学术则予以鼓励、支持，从而为伊斯兰学术向西欧渗透、扩散营造有利环境。上面所提到的热尔贝、赫尔曼、阿方斯等学者的事迹只不过是这一文化扩散最明显的例子而已。

可是好景不长，到 11 世纪初半岛上双方力量的对比就陡然改观。这起于皇朝第三代哈里发以冲龄即位，而且性格懦弱，因此权臣得以专政三十余年之久，最后导致多年内乱与皇朝在 1031 年覆灭，取而代之的，是许多各自为政和不断内讧的细小“蕃国”（*taifa*；*emirate*）。此时以克吕尼修院为原动力的宗教改革运动正风起云涌，大量法国僧侣和武士响应号召前赴西班牙支持当地的基督教王国，这两股力量联合起来遂将伊斯兰蕃国逐个击破，并强迫他们入贡。其后大有为的雷翁国王阿方索六世（Alfonso VI of Leon，1065—1109）即位，他很自然地成为西班牙半岛霸主。但半岛上宗奉不同宗教的政权虽然长期敌对、争战，却并非壁垒森严，泾渭分明：在其治下的不同民族、民众大多数能够和平相处，往来频繁。在这混乱世纪，欧洲僧侣、学者对于伊斯兰学术就有机会得到进一步接触和认识。

到 1085 年，阿方索终于将他实际上已经完全掌握的托莱多及周遭地区正式纳入版图，这就是西班牙“重光”（*Reconquista*）的开始。它最切近的后果就是把大量图书、学者转移到基督教政权控制之下。阿方索又委任克吕尼教士伯纳德（Bernard of Sauvetot）为该城大主教（1086—1125），支持他推动教会改革和扩张，在其任内 40 年克吕尼修院和法国教士在半

① Renaissance 一般译作“文艺复兴”，但原意只是“复兴”，倘以之指陈 12 世纪的文化运动，其实称为“文化复兴”更妥帖，此处从一般译法。

岛上势力因此达到顶峰[①]。此时西西里岛的缓慢征服过程（1060—1090）即将完成，从法国北部出发的诺曼人渡海征服英国（1066）未久，至于第一次十字军东征（1096—1101）则还未开始酝酿。因此，很自然地，落入基督教欧洲手中的主要文化中心托莱多和西西里先后成为翻译运动中心，而推动力量则很大部分来自英国、西西里、意大利和西班牙本土这些军事活动频繁，而商业、文化交流也随之活跃起来的地区。

阿德拉：悲悯国人之无知

在翻译运动中第一位影响巨大的翻译家是英国的阿德拉（Adelard of Bath，约1080—1160）。我们没有他的传记，仅能够从他著作的多篇序言中推测其生平[②]。他家世高贵，和当时刚刚征服英国不久的诺曼贵族有密切关系，年轻时曾经在法国北部图尔斯（Tours）留学，在拉昂（Laon）执教，到过南意大利、叙利亚、巴勒斯坦等地游历七载，回到英国本城之后还可能出任亨利二世（Henry II，约1133—1189）私人导师。他大概通阿拉伯文，而从所翻译的天文数表看来，可能到过西班牙。遗憾的是，由于资料缺乏，他的生平和主要工作地点始终未能确定。他在《自然答问》一书中深深感叹当时英国人之愚昧、落后、思想肤浅和行为自私、猥琐、狂悖，并且慨然以昌明学术自任[③]。从他的著述，以及他后来被尊为“英国第一位科学家”看来，这高远志向也并非空言。

阿德拉一共留下大约十四部翻译和著作，但其中相当部分的真正作者和性质还不能够完全确定。这些作品中最重要的无疑是从阿拉伯文翻译成

---

① 关于基督教西班牙在12世纪前半叶的宗教、文化发展以及其与法国，特别是克吕尼修院的千丝万缕关系，见 Reilly 1995，pp. 242－262。

② 关于阿德拉，最主要的是哈斯金斯的论述 Haskins 1924，pp. 20－42；桑达克对他也有专章论述，但集中于讨论其《自然答问》，见 Thorndike 1923－1958，ii，Ch. 36；此外，以下注释亦提供更多资料。

③ 本纳特翻译了《自然答问》与阿德拉其他两部著作《认同与分歧》和《论鸟》，以《阿德拉与外甥谈话录》为题，采取拉丁文—英文对照方式一同出版，见 Adelard/Burnett 1998。阿德拉的感叹见该书第83页。此书长篇导言中有阿德拉生平介绍以及他作品的考证、论述。

拉丁文的15卷本（最后两卷是赝作）欧几里德《几何原本》（1120）①，这可以视为欧洲真正认识希腊科学的第一步——事实上，它比之中文《几何原本》只不过早500年而已。阿德拉其他重要翻译包括柯洼列兹米的天文数表：它包括37章导论和116个数表，这也就是彼得阿方斯天文数表之所本；以及伊斯兰最著名星占学家阿布马沙（Abu Ma'shar ibn Muhammad即Abumasar，787—886）的《天文简论》。他自己也有相当多关于算术、四艺、化学、星盘、水晶球与占卜、猎鹰驯养术等各方面的著作，但最引起学者兴趣的，则无疑是他早年的哲学寓言之作《认同与分歧》（*De eodem et diverso*），以及和一位不知名外甥讨论自然现象的《自然答问》（*Questionnes Naturales*）76题。整体看来，阿德拉虽然受教育与背景限制，不能在学术上有更辉煌成就，但无疑是一位富有才华和大志，也能够善用其家世和关系，并且掌握时代所赋予机会的人。英国在近现代科学的发展上能够长期处于领先地位，他荜路蓝缕之功实不可没。

阿德拉的传人

由彼得阿方斯、沃尔克和阿德拉所建立的科学传统在12世纪中叶有一位重要传人，即切斯特的罗伯特（Robert of Chester，活跃于1140—1150）②。他前半生没有留下任何痕迹，在历史舞台登场已经是1141年，当时克吕尼修院院长彼得（Peter the Venerable，1122—1157）遇见他和另一位翻译家赫尔曼（Hermann）在西班牙研究星占学，就说服他们合力翻译《古兰经》。这一工作在短短两年完成，其后罗伯特到过西班牙多处地方，包括在潘普洛纳（Pamplona）出任教会职务，以及在50年代回过伦敦。他真正的兴趣在数学和天文学，这可以从他传世的其他译作看出来。这些作品最重要的是柯洼列兹米的《代数学》（1145）：它的出现使得欧

① 此翻译有许多手抄本流传，其比较及分析见Haskins 1924，pp. 24 - 25以及DSB/Adelard/Clagett；至于《几何原本》从希腊文翻译成阿拉伯文，然后又从阿拉伯文或者直接从希腊文翻译成拉丁文的历史，以及它其后在中古欧洲流传、翻译的经过，则见Heath 1965，i，pp. 361 - 370。

② 见Haskins 1924，pp. 120 - 123。

洲数学意识不再如希腊科学那样偏向形体和严格证明，而同时还向计算方面发展，所以与二十多年前的《几何原本》是不一样的。他的其他译作都是在 1144—1150 年间完成，包括 1144 年的《炼金术》（Morienus，*De compositione alchemie*），这是最早从阿拉伯文翻译出来的炼金书籍，其中特别提到冶炼方法以及金属的互相转变；一部有关星盘的论文；以及两种采用伦敦经度作为观测点的天文数表，包括前述柯洼列兹米数表。

由于以上两位翻译家工作的刺激，英国还产生了其他天文学者，包括赫里福德郡（Herefordshire）的罗杰（Roger of Hereford，活跃于 1170—1180），他有好几部数学、天文学和星占学著作，并曾经将天文数表改为采用本郡经度作为观测点；以及到过西班牙，并且师从翻译家吉拉德的丹尼尔（Daniel of Morley）[①]；此外西班牙本地犹太学者也有访问英国的记录。这些翻译家、学者对于英国两位最重要的早期科学家，即 12 世纪下半叶的格罗斯泰特和他的弟子，13 世纪的罗杰培根，都有重大影响。

大主教的翻译局

阿德拉出身贵族，虽然好像并不富裕，但能够凭藉家世与社会上层交游，从而达成从容问学四方的志愿。至于切斯特的罗伯特则是没有凭藉的学者，那就有待像彼得院长那样的人物赏识，方才能够遂其夙愿了。从这个角度看，12 世纪的翻译运动之所以能够在西班牙蓬勃展开，和王室、教会的大力支持是有密切关系的。阿方索六世的外孙阿方索七世（Alfonso VII，1126—1157）与继承伯纳德出任托莱多大主教的雷蒙（Archibishop Raymond，1126—1152）几乎同时在位，前后有 30 年之久。这两位政教领袖都礼贤下士，热心奖励学术，可以说颇有九 9 世纪巴格达哈里发风范。雷蒙更罗致了一批学者和翻译家，创办略如智慧宫那样的机构，使他们得以在安定环境和优越条件下潜心工作，这就是著名的“翻译局”。像出任塞哥维亚“主助祭”亦即“领班神父”（Archdeacon of Segovia）的根地沙尔维（Dominic Gundisalvi，活跃于 1150）是翻译局负责人，也是阿拉

① 有关这两位英国早期翻译家、科学家，见 Thorndike 1923 - 1958，ii，Ch. 42。

伯哲学家阿维森纳、法拉比、伽札利等有关亚里士多德著作的翻译者，不过他的工作要依赖翻译局中另一位专家塞维尔的约翰；而像约翰和赫赫有名的吉拉德（见下文）等都曾经在翻译局中工作过①。托莱多之能够成为当时西欧翻译中心，固然拜西班牙的独特政治、文化地位所赐，但翻译局所反映的进取、开拓气象自也是不可忽略的重要因素。

西班牙翻译家群像

塞维尔的约翰（John of Seville 活跃于 1133—1153）是改宗基督教的犹太人②，主要在托莱多工作，但与西班牙各地翻译家有密切联系。他留下了大量星占学和天文学译作，包括法尔甘尼的天文学手册、柯洼列兹米的算术论著、医典《秘中之秘》的部分，还有被认为是托勒密星占学撮要的《百言书》（*Centiloquium*），以及阿布马沙等许多其他星占学家的著作，等等。和约翰同时代并且有交往的另外一位翻译家是来自意大利蒂沃利的普拉托（Plato of Tivoli，活跃于 1132—1146）。他大部分工作是在巴塞罗那（Barcelona）所作，主要译作有一部巴坦尼的天文学以及多部星占学作品，其中最重要的，无疑是托勒密的《四部书》（拉丁译名为 *Quadripartitum*），在中古欧洲，此书名声是可以和《大汇编》相提并论的。

与他们同时，还有上文提到的赫尔曼（Hermann of Carinthian，活跃于 1140）③。他是斯拉夫人，来自巴尔干半岛西岸的克罗地亚，最初师从法国夏特尔（Chartres）座堂学校校长，柏拉图派学者梯尔里（Thierry of Chartres，活跃于 1100—1155），其后学会阿拉伯文，到西班牙和法国各地包括托莱多搜集手卷。赫尔曼和罗伯特深为相得，许多著作都互相呈献，其十余种译作以星占学和天文学为主，最重要的是《几何原本》评述本 12 卷，以及从阿拉伯文翻译过来的托勒密星盘基础理论著作《球面投射

---

① 见 Haskins 1924，p. 13，以及 Chejne 1974，pp. 402－403 及所引资料。

② 见 Thorndike 1923－1958，ii，pp. 73－78；他亦因父姓被称为“John David”，或者“of Spain”，“of Luna”等。

③ 见 Haskins 1924，pp. 43－66；他亦以“the Dalmatian”，“the Slav”等见称。

法》(1143)。该书原文已经失传，其拉丁文译本已经是孤本了，抄本也只有六个流传。他自己的著作有两篇攻击伊斯兰教的议论，以及一部哲学作品《要义》(*De essentiis*)，其中思想不但受亚里士多德和柏拉图影响，而且也有阿拉伯星占学成分，可以说是充分反映了他所处的特殊时代。

和大主教雷蒙几乎完全同时的，还有塔拉佐那（Tarazona）的主教米高(Bishop Michael，1119—1151)。他不但在建立教会的工作上很出色，而且同样热衷于学术，特别是星占学。西班牙本土翻译家，桑塔拉的休高（Hugh of Santalla，活跃于1145）就是在他资助和鼓励下翻译出伊斯兰天文学家贝伦尼对另一位天文学家法尔甘尼的评述、《百言书》的另一个版本，以及大量有关阿拉伯与北非各种本土占卜，例如星占、天占（aeromancy)、土占（geomancy)、火占（pyromancy)、水占（hydromancy)、胛骨占（spatulamancy）等等的著作；除此之外，他还翻译了一部被认为是“三威赫墨斯”所作的炼金术[①]。

吉拉德的学术盛筵

从以上讨论可见，在运动兴起之初蜂拥前往西班牙的学者对于他们所要翻译的典籍并没有清楚目标、计划或者选择标准，而往往是跟随时尚或者一时搜购所得来作决定，因此他们辛勤工作所产生的结果颇为混杂不齐，既有重要学术著作，也包含许多普罗作品，其中占卜之作占了相当分量——它多少可以视为当时学术文化（包括大众文化）整体的一个切面。这种鱼龙混杂，珠玉与沙石俱下的状况到吉拉德（Gerard of Cremona，约1114—1187)[②] 就改变了。因为，如他的简短传记所强烈暗示，他作为翻译家“具有其所处理学科的知识，并且精通相关语言”，因此在阿拉伯学

① Haskins 1924, pp. 67 – 81.

② 有关吉拉德生平和著作有下列现代记载：DSB/Gerard/Lemay；以及 Isaac H. Dunlap, “Gerard of Cremona: a manuscript location guide and annotated bibliography”, *Bulletin of Bibliography* 53 (December 1996), pp. 379 – 389，此文章有网页版，并且附有吉拉德弟子或者同事为他所撰的短传。

术园地中，有足够判断力“撷取最华美而不是一般的花朵来编织花环”①。这超卓的语言能力（特别是在阿拉伯语方面）和选择识力，加上四十余载辛勤不懈的努力，使得吉拉德远远超迈同侪，成为12世纪最伟大、成果最丰盛的翻译大家。

吉拉德来自意大利北部，他的青年时代完全无可考证。我们只知道他曾经完成相当程度的学业，然后为渴求《大汇编》这本巨著，而怀着满腔热诚在弱冠或者壮年（亦即1144年或以前）奔赴托莱多，随后住下学习阿拉伯文，然后以四十余载工夫从阿拉伯文译出近百种重要典籍，最后逝世于托莱多，但很可能运回本城安葬。他的大量译作都没有署名，幸而在弟子为他所撰写的简短传记中留下了一份长达71种译作的目录，令后人得以根据现存写本覆案追寻，并从而发现其他未曾著录的作品，令总数达到八十余种。他译作所覆盖的领域很广，包括希腊经典、伊斯兰学者的评注，以及伊斯兰学者自己的著作，因此可以说是涵盖了希腊和伊斯兰文化在科学、医学和哲学等多方面精髓。具体而言，这包括下列作品。（1）数学和天文学等方面：欧几里德的15卷本《几何原本》和几何学《引论》、阿基米德《圆之测度》、曼尼劳斯《论球面》、狄奥多西《论球面》、托勒密《大汇编》、柯洼列兹米《代数学》、穆萨兄弟《几何学》、金迪《光学》，以及萨比特、法尔甘尼等的数种著作；（2）哲学方面：亚里士多德的《后分析篇》、《物理学》、《论天》、《论生成》、《天象学》前三卷，以及金迪、法拉比和托名亚里士多德的数种著作；（3）三种炼金术著作，包括札贝尔的“七十部书”和两种托名拉齐的作品；（4）24种医学著作，包括九种盖伦著作，六种拉齐著作，和阿维森纳的《医典》（*Canon of Medicine*）；（5）数种星占学作品，包括马撒哈拉（Masha'allah; Messahalla）的作品。

12世纪翻译家大多不通阿拉伯文，因此必须借重兼通阿拉伯语的当

---

① Michael McVaugh, tr., “The Biography of Gerard by his Students at Toledo”, in Edward Grant, ed., *A Source Book in Medieval Science* (Cambridge, Ma: Harvard University Press 1974)，见上注 Dunlap 在其文章中的征引。

地人，特别是曾经在伊斯兰地区居住的基督徒（即所谓莫差剌人 Mozarab）和犹太人，来将阿拉伯文典籍先以西班牙语或者法语等罗曼斯语读出，然后再根据自己的理解以拉丁文书录。经此转折，译文窒碍错误自所难免。吉拉德则不然，他本人精通阿拉伯文，因此不但能够自行浏览、判断、选择各种典籍和版本，翻译工作也不必有求于人——记载中他只是在翻译艰深浩繁的《大汇编》时用过助手，而可以集中精力字斟句酌，以求最精确妥善的表达，从而形成独特风格。他的风格其实也数经尝试、变化，最后选择跟随塞维尔的约翰，即以逐字逐句紧随原文为宗旨，务求保持原来行文结构。这是出于对传世经典的敬重，同时也为后来学者追寻译源提供绝大方便。

根据上文提到的丹尼尔一段简短记载，我们知道吉拉德曾经就马撒哈拉的星占术发表演讲，从而得知他是才气纵横、志向远大的学者，而绝非如传记所暗示的那样，是驯谨谦退、终日伏案的书呆子。经过四十余载辛勤和精研覃思，这位至今在科学史领域以外仍然无甚藉藉名的大学者成就了近乎移山倒海的大业，为中古欧洲心灵备办了丰盛学术筵席，也为近代科学的出现铺垫了道路。

四、希腊世界的回归

在 11 世纪，拉丁民族在欧洲西、东、南三方面的扩张几乎同时进行：在西方以“重光”西班牙为鹄的，最直接成果是收复托莱多；其他两方面，则以重光东方耶路撒冷和南方西西里岛为目标。到耶路撒冷之路必然通过小亚细亚和叙利亚，因此十字军东征所产生的连带后果是拉丁世界学者在君士坦丁堡和安提俄出现，从而为拉丁与东方世界的交流创造条件。同样，西西里和南意大利本来是东罗马帝国领土，在语言、文化、宗教上具有浓厚希腊背景，因此它为诺曼人所征服并归其统治后，很自然地成为拉丁与希腊世界之间的桥梁。这两地的翻译成果就性质、数量、影响力而言，固然不能与西班牙相比，但它所面对的是希腊原典，与西班牙所翻译的阿拉伯典籍不同，所以仍然有其重要性，可以补后者之不足。

拉丁学者在东方

首次东征的十字军在1098年夏天攻克叙利亚西北角的安提俄，即今土耳其的哈塔伊（Hatay），自此这个商业重镇就成为拉丁欧洲与巴勒斯坦贸易的枢纽，而最先抓住这个机遇建立海上王国的，就是意大利西北角上的比萨（Pisa）公国。因此从1108年开始，安提俄城内就已经有个非常活跃的“比萨区”，而迄今所知欧洲在东方的最早翻译家则是“安提俄的斯蒂芬”（Stephen of Antioch，活跃于1127），一位和阿德拉大致同时，但来自比萨的学者[①]。他曾经在意大利南部的医学中心萨莱诺和西西里习医、学阿拉伯文，于1127年开始翻译10世纪伊斯兰医学家阿巴斯阿里（Ali-ben-Abbas）的《正统汇编》（*al-Malaki*；*Regalis disposition*）。这是步武医学大师拉齐之作，它在多年前（1080—1114）即由“非洲人”康斯坦丁及门人部分译出，但残缺不全。斯蒂芬很可能知道他们的工作：他发愤重新翻译了一个完整的全本，并且在书后附了一份详细专门名词的拉丁、希腊和阿拉伯三文对照表。他还在书中表示仍有志于其他译作，但这些在文献中就没有踪影了。

十字军在早期都是千里迢迢地循陆路往东方进发，大军所过，骚扰势所难免。然而，紧扼博斯普鲁斯海峡这欧亚交通咽喉的君士坦丁堡作为东罗马帝国首府却又须恪尽地主之谊，这就产生了拉丁与希腊两种不同宗教、文化的政治体系之间的摩擦和冲突。当时富甲天下的君士坦丁堡很自然地更引起了拉丁民族的觊觎之心，这最后导致它为第四次十字军洗劫和占领的大祸，不过那是1204年的事情了。在12世纪罗马教廷和东罗马帝国之间还是以礼相待，使节往来络绎不绝，东西方两大教会的主教更经常在东罗马皇帝御前剖析教义，论辩诘难。

有关1136年这样一次御前论辩的记载提到当时作为传译的三位西方学者。其中来自比萨的勃艮第奥（Burgundio of Pisa，卒于1193）是著名法学家、法官、外交家、翻译家，曾经出任罗马教廷特使，同时在他漫长

① Haskins 1924，pp. 130－135.

一生（他很可能活到九旬以上）也致力于翻译希腊文著作，特别是由于教皇的要求而翻译了大量东正教神学著作，并由是而影响隆巴德（Peter Lombard）和阿奎那（Aquinas）的思想。此外他还翻译了医学家希波克拉底的《格言》（*Aphorisms*）；十部盖伦著作；古罗马《民事法典：学说汇编》（The *Digest of Corpus Iuris Civilis*）中的希腊文部分；甚至还有一部关于葡萄种植的作品。论辩中另一位学者是来自威尼斯的詹姆斯（James of Venice，活跃于1128—1136）。根据诺曼底某修院记载，他在1128年完成了亚里士多德的《论题篇》、《前分析篇》、《后分析篇》、《辩谬篇》等四种逻辑论著的"重新"翻译和评述。这间接证实波伊提乌曾经有不完整、也久被遗忘的"旧译"——不过，这新译流行之后却被认为是波伊提乌的译作，也就是与旧译混淆了。更令人迷惑的是，在12世纪下半叶又出现吉拉德和不知名译者从阿拉伯文翻译的两个《后分析篇》版本。这样，我们只能笼统地说，由上述四种著作组成的亚里士多德"新逻辑"是在12世纪通过多种渠道在西欧出现和传播开来的，而詹姆斯则是最早着先鞭者。至于辩论中最后一位学者是来自小亚细亚西岸贝加莫的摩西（Moses of Bergamo，活跃于1130—1136），他在君士坦丁堡宫廷任职，主要目的却是搜罗典籍和学习希腊文，以为未来翻译事业作准备。可惜他的图书毁于回禄，翻译工作亦无所成，只留下一首描述贝加莫的长诗而已①。

诺曼人在南方：西西里的世界

由于其独特地理位置，西西里和南意大利历来是地中海周边各种族、宗教、文化的交会点，也是各种政治力量的较量点：拉丁、希腊、阿拉伯、隆巴德、犹太等民族和他们所信奉的罗马天主教、东正教、伊斯兰教、犹太教都在此立足、发展，相互争战。来自法国的诺曼人是另一股新生力量，他们在11世纪初即开始渗透和逐渐控制意大利南部；然后，从1060年开始，更以小股势力进军西西里岛，驱逐盘踞在那里的伊斯兰教

① 有关上述三位学者的记载，见 Haskins 1924, Ch. 10；至于《后分析篇》在中古欧洲的翻译和传播过程是高度复杂问题，其分析和讨论见同书 Ch. 11。

徒。这是个艰难和缓慢的过程，直至12世纪初才大体完成。他们的下一代是罗杰二世（Roger II，1112—1154），他在1103年以冲龄继位，1112年亲政，1130年自立为西西里王（King of Sicily）。此君颇有才略，厉行中央集权——这和当时流行的封建体制截然不同，但为政严明，知人善用，深得民心，由是建立起多民族、多文化，繁荣昌盛的王国。他的统治前后延续将近半个世纪之久，继任的威廉一世（William I，1154—1166）和威廉二世（William II，1166—1189）也都能够萧规曹随，继承德政。因此，当12世纪的翻译运动在英国、西班牙、意大利风起云涌之际，南方的西西里王国也正处于黄金岁月。由于它的多元文化背景，与东方的频繁交往，以及王室的开明进取，这一运动很自然地也在西西里蓬勃发展。

如上文提到，早在11世纪康斯坦丁就已经在萨莱诺开展大规模医学翻译；至于在西西里本岛的翻译工作则在12世纪前半叶，即罗杰二世治内开始①。首先，英国翻译家阿德拉曾经在萨莱诺学习，并且将他的哲学诗歌献给叙拉古主教；而且岛上学者也提到了当地一些早已经存在的经典译作。但我们有切实资料的第一位西西里岛翻译家则是威廉一世时代曾经短暂出任王家“大总管”（*familiaris*）的阿里斯提柏斯（Henricus Aristippus，活跃于1156—1162）。他在1150年代翻译了柏拉图的《米诺篇》和《斐多篇》——这是继《蒂迈欧篇》之后最早的柏拉图翻译，此后要等到15世纪才有《对话录》全译出现；以及亚里士多德《天象学》第四卷。根据《斐多篇》序言中他写给一位英国朋友的进言我们得知：国王威廉爱好学术，而当时他们的图书馆中藏有赫伦的《力学》和《气体力学》、欧几里德的《光学》以及亚里士多德的《后分析学》等希腊典籍。由于这些典籍的拉丁译本（属13世纪或者更后）源流并不清楚，因此它们颇有可能都是12世纪的西西里译本。不但如此，而且阿里斯提柏斯还和《大汇编》的最早翻译有密切关系。这本巨著最早由西西里一位不知名的学者译出，成书在1165年左右，比吉拉德译本最少早十年。根据译本序言我们得知，该书希腊文原本是君士坦丁皇帝曼努尔（Manuel Comnenus）

---

① 以下有关西西里岛的早期翻译工作主要见 Haskins 1924，Ch. 9。

于1160年赠送给西西里国王的重礼，大总管阿里斯提柏斯正是负责运送的特使和将书交托萨莱诺学者翻译的官员。令人感到意外和惋惜的是，这一盛事之后仅短短两年，阿里斯提柏斯就为了不详原因而被投狱，不久去世。

与阿里斯提柏斯同时的另一位翻译家是被尊称为“哲学家”的尤金（Eugene of Palermo，emir）①。他出身希腊基督徒家庭，祖、父两代都被委任为总管，自己也袭此高职，主管财政，在12世纪下半叶活跃于西西里政坛多年，通希腊、阿拉伯、拉丁等三种语文，最重要的贡献是从阿拉伯文翻译出托勒密的《光学》，此书因此得以流传。他又精通数学，曾经就《大汇编》的翻译问题予译者以指导。此外他还是一位重要的历史学家，著有《西西里王国史》（*Liber de Regno Sicilie*），并有数种诗作和译作，又搜集了多种科学典籍，包括欧几里德的《引论》、《光学》、《折射光学》以及普洛克鲁斯的一部力学作品——当然，很有可能这些书籍正是阿里斯提柏斯序言中所提及者。他曾经系狱一年，释放后重返政坛，而且在政权更迭中屹立不倒，直至1204—1207年间即腓特烈二世的时代才去世。

从苏格兰到西西里

最后，我们还要提到一位和西西里有关系的英国翻译家，“苏格兰人”米高（Michael the Scot，约1185—1236）②。他最早出现于13世纪，当时已经在托莱多埋首工作有年，刚刚完成翻译比特鲁吉（al-Bitrugi）的《论球面》（*On the Sphere*，1217），这是关于亚里士多德同心球面天文系统而非托勒密本轮系统的伊斯兰天文作品。他最主要的译作是二至三部亚里士多德作品：1220年之前完成的《动物志》（*History of Animals*），此译本跟随阿拉伯文本传统，不但包括原来的10卷本《动物志》，而且包括

---

① 以下专书对尤金家世和生平做了详细考证和研究：Jamison 1957。此书对于西西里王国政体特别是其承袭前代阿拉伯政权之处有深入论述。由是我们知道欧金的“海军上将”（admiral）称号其实来自阿拉伯的“统帅”、“总管”（emir）之名。

② 关于西西里国王腓特烈二世的科学兴趣和苏格兰人米高的翻译工作，见 Haskins 1924，Ch. 12 - 13；此外尚见 Thorndike 1923 - 1958，ii，Ch. 51 的详细记载。

《论动物部分》(*On Parts of Animals*) 和《论动物生成》(*On the Generation of Animals*),共 19 卷之多;以及 1217 年后完成的《论天地》(*De caelo et mundo*,现代版本为《论天》)。至于附有阿威罗伊评论的《论灵魂》(*On Soul*) 也很可能是他的译作;除此之外,还有许多其他亚里士多德译作,如《物理学》(*Physics*)、《形而上学》(*Metaphysics*)、《伦理学》(*Ethics*),等等,也都被归到他名下,但那不甚可靠了,很难将他确定为译者。

米高在 1221 年赴博洛尼亚,1224—1227 年间在罗马教廷与教宗商洽他到英国出任教会高职的各种可能,其后不久南下,成为神圣罗马皇帝暨西西里国王腓特烈二世(Emperor Frederick II,1194—1250)座上宾和星占学家,自此在彼乡终老。腓特烈二世是一位意志坚强和敏锐好学的君主,对于自然观测(特别是动物学方面)和实验极感兴趣。米高到了西西里之后最早的工作就是将《动物志》作个名为 *Abbreviatio Avicenne de animalibus* 的撮要本奉献给君主。但他后来最着力,也最成功,赖以成大名的工作,则是分为《引论》、《各论》和《自然奥秘》等三部分的星占学巨著。这像其他同类作品,是混合了星占学、天文学乃至宗教和宇宙论的著作,它在今日最能够引起读者兴趣的,无疑是书中所记录,腓特烈二世和他就宇宙底蕴所作的长篇讨论,例如在日月和五大行星所构成的宇宙同心球面体系中,上帝、炼狱、地狱到底应该分别占据什么位置的问题。

欧洲翻译运动的第一阶段至此就大体结束了:它从康士坦丁开始,以迄米高为止,前后将近两百年之久,但最活跃时期则是从阿德拉到吉拉德的 70 年(1120—1190)。不过,运动之结束并不代表翻译的终止。事实上,在此期间尚有许多古代典籍(例如柏拉图和阿基米德的作品)未曾翻译,或者翻译未能尽善。因此,出于哲学、科学、宗教和实际研究的需求,或者由于个别学者的兴趣,此后欧洲的翻译工作直至 17 世纪仍然持续不辍。像在 13 世纪格罗斯泰特翻译教会与哲学经典,摩尔巴克(Moerbeke)从希腊文重新翻译亚里士多德全集以及阿基米德大部分著作,康帕纳斯(Campanus)仔细重译《几何原本》,以至 15 世纪末费齐诺(Ficino)译出柏拉图《对话录》全集,16 世纪中叶可曼迪诺(Commandino)从原典译出大量古希腊数理科学著作,都只是突出的例子而已。因此,可以说,自中古

以迄科学革命为止，通过翻译工作来吸取古代与伊斯兰文明的养分，始终是欧洲学术与科学进步的重要动力。

五、大学体制的出现

大学是欧洲近现代学术的摇篮，也曾经一度是科学成长的温床，而且，从13世纪中古科学兴起以迄17世纪科学革命，科学家除了极少数例外都是在大学培养出来，更有相当部分是在大学工作；至于神学、医学、法学也莫不是在大学中发展其专业和训练人才。因此，倘若没有大学，那么不但现代科学的出现难以想象，整个欧洲的文化面貌也将迥异。然而，欧洲大学和柏拉图学园、亚历山大学宫、巴格达智慧宫等古代学术机构，无论在体制或者理念上都大不相同，和古代中国的学宫、太学或者书院更是大异其趣。所以，要了解欧洲学术发展，首先必须探究大学的渊源和制度①。

大学的起源

那么，到底是什么将欧洲大学与历史上无论东西方所有其他学府、学术机构判然划分开来的呢？从体制上看，最基本的就是：它在起初并非个别学者、君主或者任何个人乃至政府，根据特殊理念、需要来设计、建构

---

① 有关西方大学早期历史的英语经典专著是三卷本的 Rashdall 1958，此书原本写成于1895年，在1936年经过编辑和修订后出新版，今本是该修订版的重印本。此书虽然陈旧，但仍然为学者高度推崇，例如有关博洛尼亚法学院的部分，在1980年代仍然被认为是英语著作中最权威者，见 Berman 1983，p. 582，n. 2。至于这方面最重要的当代著作则是 Ridder-Symoens 1992，它是四卷本的欧洲大学史，由欧洲大学校长联合会所委任的编辑委员会负责编纂，目的在于通过“社会学与比较分析”来全面审视自起源以迄当代的欧洲高等学府，其中第一卷覆盖中世纪，第二卷则覆盖16－18世纪。至于 Compayré 1969［1893］，Bender 1988，Pt. I 与 Van Engen 2000 等三部专著则分别从学术体制的起源、大学与城市的关系，以及教学等三个不同角度来探讨中古大学起源。此外有关欧洲早期大学的简明论述有 Haskins 1957 以及 Daly 1961，前者是哈斯金斯1923年的演讲集，后者是为大学生撰写的教材。大学兴起与早期文艺复兴以及经院哲学有密切关系，这方面的论述见 Haskins 1993，Ch. 12 以及 Southern 1995－2001。

或者推动成立，而是在特殊社会环境下自然形成和发展的事物，根本没有预先订定的计划、构想、或者目标。特别令人惊讶的是，它的发展史几乎就是一部抗争史：大学与市民斗，与主教斗，与修会斗，乃至与国王、教皇斗，而最后它所以能够成为社会中一个强大、独立、不可分割也难以动摇的体制，则是经过长达一两个世纪的斗争之后，各种有关力量达致平衡的结果。这说明了两件事情：首先，社会对大学有迫切需要，不能不曲为优容；其次，大学对社会构成巨大冲击，它的体制是两者最后妥协的结果。当然，这种成长模式只是指它的原型，后来欧洲出现的新大学有些是从原型所衍生，也有不少是由君主所直接推动、设立——不过即使是这些后起的大学，其理念、组织、精神也都还是以少数早期原型为典范。

西方大学有两种不同原型：一种是由专科学院蜕变而成，这以博洛尼亚法学院蜕变出来的大学为代表，它的特色是学生垄断一切权力，可称为“学生大学”（student university）；另一种则是从大教堂即座堂（cathedral）附属学校蜕变而成，这以巴黎大学为代表，它的特色是教授掌握大部分权力，因而称为“教授大学”（master university）。它的文科特别发达，所以又称“综合大学”。欧洲所有其他大学都是由这两个原型所衍生，或者以之为典范而建立。大体上，南欧包括法国南部、意大利、西班牙等地的大学取法于博洛尼亚；英、德、中欧、荷兰等国家的大学则取法于巴黎。不过，话说回来，无论这些大学渊源和早期形态如何，它们的后期发展和趋向都大体相同，只不过在传统、仪式、风气上有分别而已。

大学的特征

以上的概括显示了大学三个重要特征。首先，它是对应于社会、文化中某种非常深层和强大需求而出现。就博洛尼亚型大学而言，这需求是严格的专业教育，它所提供的是律师、官吏、行政人才；就巴黎型大学而言，这需求是具有独立思辨能力的人才，它所提供的是教士、神学家、学者。其次，要有效地满足这种需求，必须有特殊体制——大量属于不同学科、专业，并来自不同地域的教师和学生集中于一个高度宽松、自由、自主的环境；而要创造和维持这样的环境，则大学整体必须获得相对于国

家、教会、社会的自主性，乃至相当高程度的独立性。最后，大学体制在其初虽然是特定环境的产物，但对于发展中的西欧社会而言，对它的需求是共同的，它的体制、理念是可以移植、模仿的。因此，大学得以超越它早期的特殊根源，而成为具有普遍性的教育学术体制，在整个欧洲散播和成长。这普遍性与可复制性是它和学园、学宫、智慧宫等独特学术机构的根本不同之处。

为什么欧洲大学会有这些特征呢？根源在于教皇革命和翻译运动：前者带来了法学研究热潮，后者带来了古代哲学与科学，这些崭新学问改变了欧洲社会的知识基础和人才结构，因此也就产生了对高等教育的深层需求。但这些新学问并不是封闭、固定，而是在不断扩充、发展、改变之中，这就使得大学必须具有那种自由、开放、自主的环境才能够蓬勃生长。其次，在教皇革命与军事扩张刺激下，欧洲各国之间出现剧烈竞争，这转而刺激人才需求，造成大学体制的散播。换而言之，宗教振兴令欧洲转变为充满活力的动态社会，而大学就是这一转变过程中的产物。最后，上一章已经提到过，欧洲大学与更早出现的伊斯兰高等学院（*madrasah*）还可能有千丝万缕关系。如麦迪西所详细论证，就体制而言，大学中的“书院”（college）起源于以公益基金为学生提供生活条件，那正与伊斯兰学院相同；大学颁授文凭予毕业生，使得以此为任教资格凭证的制度，亦与伊斯兰体制相同。此外，中古大学的许多教学体制也都可以在伊斯兰学院中找到明显的先例，例如：以诵读为主的“讲课”（*lectio*，即 lecture）、学者间的“论辩”（disputation），以及将正反方意见对比并列的所谓“是非法”（*sic et non*），等等。甚至，法学院在西方（特别是意大利）大学中的突出位置，也很可能是受“法理学”在伊斯兰教育体制中的绝对主导地位影响所致①。因此，欧洲大学体制不但是受到内在发展动力与外来学术这两方面的刺激，更有相邻文明的先进体制在提供示范作用，它的形成因素是相当复杂的。

---

① 见 Makdisi 1981，特别是论述伊斯兰与西方高等教育体制关系的 Ch. 4；此书对于伊斯兰高等学院的起源、精神与发展有详细论述。

六、法学传统与专科大学

欧洲最早的法律学校出现于罗马、帕维亚（pavia）、拉韦纳（Ravenna）等地，但首先蜕变为大学的则是博洛尼亚法学院。它在12世纪初本来是一所著名的文科学校，后来之所以成为法学院，则与当地两位传奇性法学家伊内留斯和格拉提安，以及他们所带动的法学热潮分不开。这其实是个正反馈循环：法学一旦进步与精密化便会有大量诉讼，有诉讼便会需要大量律师与法官，因此也就会刺激有才华与经济能力的学生趋之若鹜，从而造成声名卓著的法学院。博洛尼亚大学就是在这法学改变社会、社会推动法学教育的连锁反应过程中成长的。

两位传奇法学家

博洛尼亚处于意大利阿平宁山脉以北平原的交通枢纽，这一区域散布着多个相对独立城邦，它们虽然多次经历北方蛮族入侵和统治，但仍然保存古罗马家族以及文化、法律传统，罗马法典也始终在若存若绝之间，被零零碎碎地和其他法律系统（例如民族法）混杂使用。"授职权之争"是震动欧洲政教两界的大事，它不但是政治和军事斗争，更是空前激烈的言论、思想和法理斗争。因此，很自然地，它激发了众多北意大利法学家竞相研究庞大精密的古罗马法统，以从其中为皇帝或者教宗寻找有利的论据①。

伊内留斯（Imerius，约1060—1130）的生平和师承不详，我们只知道他早年曾经受过托斯卡尼的女伯爵玛蒂尔达（Countess Matilda of Tuscany）资助和鼓励，而后者则是教皇格里高里七世最重要支持者之一②。他的巨

---

① 有关"授职权之争"刺激法学兴起的全面论述，见Berman 1983，Ch. 2-3。有关法学研究与教育在北意大利兴起的背景，见Southern 1995-2001，i，pp. 264-274。

② 有关伊内留斯的背景以及他与玛蒂尔达和博洛尼亚法学院的关系，见Southern 1995-2001，i，pp. 274-282以及Rashdall 1958，i，pp. 111-125。需要注意的是，在1118年（当时玛蒂尔达已经去世三年）的教皇选举中，伊内留斯和其他博洛尼亚法学家又公开地站到神圣罗马皇帝一方。

大贡献是发现了古罗马《民事法典》(*Corpus Juris Civilis*)中最关键部分《学说汇纂》(*The Digest*)的整体①，并且加以详细注疏，从而成为名重一时的法律教师。因此之故，博洛尼亚作为法学中心的地位也同时急遽上升，迅即盖过本来重要得多的皇权派城市拉韦纳，这大约是1100—1130年间，亦即教皇革命之后不久的事情。

至于格拉提安（Gratian，活跃于1125—1151）的生平则更是一片空白：我们大体知道他曾经是博洛尼亚一个本笃派修院的修士，但他是否曾经教授法律或者在法律界执业却都争议纷纭，没有确切证据。不过，从他的著作可以大体推断，他可能到过法国北部求学，所以熟悉阿伯拉（Abelard）的辩证法，也很可能曾经在北意大利作为律师执业②。我们真正能够确定的是，他最迟在1142年或1151年完成了一部庞大的教会法（canon law）文献汇编。在授职权之争以后，罗马教会实际上已经成为跨国的全欧宗教、政治、行政以及法律体系，所以这部简称《诏令》(*Decretum*)的巨著也就成了中古法律体系中不可或缺的权威经典，它的研习更导致了“教会法”这个新兴学科的出现。这部汇编的全名是《不谐协的教会法汇编》(*Concordantia discordantium canonum*)，它基本上是以问题（包括高度假设性问题）性质来分类的教会法文献汇编，而所谓“文献”则包罗万有，从教皇诏令、教会法规以至会议记录，抗辩、申诉、评论书简等等都巨细靡遗、分门别类地罗列出来，务求将问题、正反双方各种对立意见，包括最尖锐激烈的争辩理据都集中起来，以方便查览研究。由于它的全面、深入、系统化与方便，因此在不足十年内就为欧洲各级、各地政教机构采用，它的作用为史学家如此总结：“格拉提安的《诏令》为西方社会在教皇主导的正统

---

① 此法典现在通称《民法大全》，是罗马帝国最后一位伟大君主查士丁尼大帝治内所编纂的法律全书，它包括以下四个部分：《法规》(*Code*)，即查士丁尼以前的历代法规汇编；《新法规》(*Novels*)，即查士丁尼时代的法规汇编；《导论》(*Institute*)，即初步介绍；以及《学说汇纂》(*Digest*)，即历代法学家对于众多法规的阐释、意见和讨论，它在各部分中卷帙最浩繁，对于了解法规用意和细节也最重要。自从20世纪90年代初开始，此法典已经陆续翻译成中文，分别由北京法律出版社以及政法大学出版社出版。

② Southern 1995－2001，i，Ch. 9以及Rashdall 1958，i，pp. 126－141对于格拉提安的事迹、贡献、影响，以及其对整个西欧教会法系统的巨大刺激，皆有详细论述。

架构中提供了社会与宗教重组的法理基础"，它"对欧洲政府前途的当时与长远影响都超过了那个世纪任何其他著作"①。

由于以上两位法学家和两部分别有关"民法"与"教会法"编著的巨大冲击，博洛尼亚迅即成为学习和研究法律的中心，大批学生从四面八方蜂拥而至，他们毕业后或执业，或留下任教，整个行业的名声、地位、规模、影响力不断上涨，这自然也就反过来增强了法学院本身的地位和重要性。但到底是什么因素使得这样一个正反馈的循环得以激活呢？除了作为基础的当地深厚法学传统以外，最重要的因素有以下两个。首先，是实际需要，这是个"外在"原因。教皇和教会作为新兴政治力量之出现，改变了欧洲的管治方式，使得它更为复杂和多元化。而诉诸法律是新形势之下极其重要的竞争和抗衡手段，因此无论教廷、王室、各级教会，乃至大小诸侯属国和城邦政府，都需要大量法律专家。这也就是说，法学专业成为晋身权力中心的显学了。其次，则是学理上的提高，这是个"内在"原因。从表面上看，伊内留斯和格拉提安所做的，只不过是编纂注疏之学，这虽然为法学界带来巨大便利，却并未曾脱离前代法典，特别是古罗马法的范畴。其实大不然，我们不可忘记，在他们活跃的 12 世纪前半期，同时还有两个重要发展：首先，是下面要讨论的经院哲学开始盛行，也就是阿伯拉和隆巴德（Peter Lombard）之将亚里士多德逻辑学应用到神学而风靡一时；其次，则是上面已经提到的，威尼斯的詹姆斯之在 1128 年从希腊原文翻译出亚里士多德的所谓"新逻辑"，即《论题篇》、《前后分析篇》和《辩谬篇》。很明显，这些首次在拉丁西方出现的亚里士多德逻辑学不但冲击哲学和神学，也同样对法学产生微妙影响，令法学中的观念、理据、论辩方式变得更为深刻和精微。格拉提安之所以不辞辛劳，要将历代文献中最为尖锐对立的见解汇集并列以辨析异同，正是要将逻辑的利剑发挥尽致——虽然在表面上亚里士多德和逻辑在博洛尼亚并不受重视。因此，12 世纪所出现的新法学不但切合时代需要，同时也是个更为博大精深的学术体系——伯尔曼在其巨著《法律与革命》中甚至称之为西方科学的"原型"（Law as the

---

① Southern 1995 - 2001，i，p. 307.

Prototype of Western Science)①。因此，当时学者趋之若鹜不仅仅出于现实动机，也同样有学术向往与更高远理想存乎其间。

“学生大学”的形态

博洛尼亚大学是在12世纪逐渐发展起来的。它最早得到的官方承认是神圣罗马皇帝腓特烈一世1158年的“特许状”（称为Authentic *Habita*），到世纪末规模据说已经达到上万学生②。它的最初组织和发展已经无法细究，我们只知道学生和教师都各自有类似于工匠行会（guild）的协会。学生来自欧洲各地，所以自始就有国际性质，他们按不同族群和专业而组织的协会通称为“联合会”（*universitas*）。由于作为外邦人，他们在当地权益不受城邦政府保障，所以联合会的主要功能有两方面：以集体力量保证，在食、住、买卖、人身安全、解决纠纷等问题上，能够得到当地民众和政府的善待；以及要求教师尽责和有系统地讲课，保证甚至强制他们遵守约定。这些个别联合会到后来发展成为包括所有学生的大联合会，至于个别族群联合会则改称“国族”（nations）。教师所组成的协会或者行会一般称为“学院”（*collegium*，college），它的主要功能是向修业期满并且达到一定水准的学生颁发“授课资格证书”（*licentia docendi*），也就是承认他们可以加入教师协会。“学士”（bachelor）指经过四五年学习，允许讲解一科的资深学生；“博士”（doctor）指经过六至八年学习，有资格教授所有科目的毕业生。这种证明到后来也发给大量符合资格，但其实并无意任教的学生，因此它的性质逐渐演变为认定资历的毕业文凭，也就是“学位”。在当时的观念和用语中，学生大联合会和教师协会合起来称为“*studium generale*”，是学者公会或者大会之意，那才相当于今日所谓“大学”。

由于法律学生数目众多，他们又往往是贵族子弟、官员或者享领俸禄（benefice）的教职人员，一般年纪较大，有相当家庭背景、社会地位和经济

---

① 此为Berman 1983，Ch. 3最后一节标题。

② 罗舒道尔的巨著对博洛尼亚法学院和博洛尼亚大学的历史有详细论述，见Rashdall 1958，i，pp. 142－268。此外Bender 1988，pp. 13－21对博洛尼亚大学成长时期混乱的政治背景，以及城邦对大学通常的友善态度，都很值得注意。

实力，所以他们的联合会势力浩大，所选出来的“学长”即所谓“rector”被承认为城邦中外来学生的首领，可以对学生行使司法管辖权乃至审判权。这权力的来源很特别：其初只是学生入联合会时的自愿宣誓——在中古背誓行为不但为人所不齿，而且在基督教义中犯了“发假誓”（perjury）的严重罪行，可以导致“革除教籍”（excommunication）处分，所以誓约有强大制约力量。凭借这强制力，学生联合会不但可以约束会员，而且在其成员由于酗酒、打架、银钱瓜葛，甚至人命伤亡等纠纷而与当地市民、官员、政府发生激烈冲突的时候，还可以采取“集体离城”（secession）然后转投其他城邦的激烈行动，以作为抗争武器。换而言之，就是以集体谈判与经济杯葛方式来与具有主权的城邦对抗，以求维护联合会的尊严与独立，和抗拒城邦控制联合会会长的企图——那也往往是通过要求会长发誓承认城邦宪章这一机制。这样，学生联合会所要争取的，是实际上与城邦分庭抗礼，成为“邦中之邦”。在13世纪初，即1215—1224年期间，学生联合会与博洛尼亚城邦多度冲突，而教皇出于政治考虑则总是支持学生，所以结果形成僵局，其间他们就曾经转投威尼斯附近的帕多瓦（Padua）大学。同样事件在14世纪再度发生（1321—1322），这次他们转投锡耶那（Siena），结果以双方妥协告终。无论如何，终13—14世纪之世博洛尼亚大学一直在斗争和动荡之中。

在学生势力如此庞大的大学中，教师虽然也曾经有意伸张本身作为行业专家或者“师傅”（master）的地位和自然权利，而视学生为“学徒”，却始终力不从心，未能成功，反而逐渐从能够与学生订定教学契约的平等地位，慢慢沦落到受学生联合会雇用的低下位置。由是，不但他们的教授方式、教学进度受到种种限制，甚至他们离开城邦的人身自由也受到束缚——以防他们在课程尚未完成的时候逃跑！这种奇特的状况起源于法学教师最初都是博洛尼亚本地人，他们基于本身经济利益站在城邦这边，而不愿意加入学生所组织的联合会，甚至也不参加外邦教师的公会，因此从一开始教师和学生之间就形成对立。在学生力量日益扩大，联合会成为大学主体，而学生所选举出来的“rector”演变为校长之后，教师地位下降就成为无可避免的自然趋势了。

大学体制的演化

从上面的描述可见，除了学生联合会和教师公会以外，早期大学是非常松散的教师学生集合体，没有固定规章制度或者组织，它基本上只是根据习惯性了解来运作：只要得到公会承认，教师就可以个别地与学生协商收费，然后在租赁的教室中开讲；视乎教师的经验、名声，他们所收学费可以有极大差距。但这种放任自由的状况显然不可能长久，到了13世纪，大学无可避免地就失去相当一部分自主权，并且逐渐朝制度化方向发展。

这发展开始于教会控制的伸张。博洛尼亚大学与法国许多大学如巴黎大学不同：后者本来是从座堂附属学校演变出来，自然要受教会管辖。然而罗马教会向来认为教育属于宗教范畴，新兴的博洛尼亚大学虽然本来与教会毫无关系，亦不可以例外。在这背景下，教皇洪诺留三世（Honorius III）于1219年发布诏令，宣布博洛尼亚大学颁发博士学位必须得到该城大教堂主助祭（archdeacon）同意。当时大学与城邦正激烈对抗，而主助祭恰好由一位著名法学家担任，所以这影响深远的诏令得以顺利通过，没有遭到反抗。然后，在1253年大学最早的成文法规（statute）由教皇批准。到1291年教皇再次颁令，宣布由主助祭所授予的博士学位在欧洲所有其他大学都有效，也就是领受者有资格在全欧洲授课，由是将博洛尼亚和相类大学都纳入教会体系，主助祭也成为教会管辖大学的代表。不过，这位教会代表在大学始终是外人，他的管辖权力只不过是象征性而非实质性的，他被称为大学“监督”（chancellor）已经是1464年的事情了。

与此同时，城邦也开始介入大学行政。在其初这完全是偶然的：在1280年，为了与其他城市竞争罗致某些名教授，城邦应学生要求出资设立带有固定薪金的讲席（chair），其后这些讲席数目开始增加，但薪金有限，人选则由学生通过选举决定，而且主要目的在于吸引外地教师。但经过一个世纪演变之后，情况就完全不同了：在1381年，不但讲席数目增加到23个，薪金大幅度上升，而且人选一般也都由城邦所指派的校务委员会决定，只有极少数仍然由学生联合会选举。这样，由于经济力量的影响，教师委任权不知不觉中从学生联合会转移到城邦，甚至博士学位的颁

授，这时也开始交由少数教师组成的委员会决定，而不再牵涉全体教师。这样，大学的层级化和体制化就成为缓慢但不可阻挡的趋势了。

学术体制的演化

至此为止，我们所讨论的基本上其实只是法律学院，这主要因为它在意大利的名声盖过所有其他学科，所以不但它的组织和发展模式为其他专科仿效，而且在大学中权力也最大，占统治地位。至于其他学院，则都比较后起：例如医学同样是高度实用和专业性科目，但帕多瓦大学要到 13 世纪中叶才开始有医科教师和学生组织；而在博洛尼亚，则医学院到 1316 年才脱离法学院，自己选举“学长”。至于性质接近文科的神学院，则由于教皇一贯政策是令巴黎大学独占此专科，所以发展得更晚，一直要到 1364 年才开始设立。至此，博洛尼亚才成为完整的中古大学，具备其他大学都必然设立的法学、医学、神学等三个所谓“高等学院”。在此以下，一般大学都还要设立更学术性的“文学院”来教授基础性的“三艺”（文法、修辞、逻辑）和属于科学范畴的“四艺”（算术、几何、天文、音乐），学生一般要文科毕业才能够进修高等学院的专业课程。不过，文科在意大利不受重视而只是被视为初等基础课程。因此，很奇怪地，博洛尼亚大学的文学院在组织上隶属医学院——虽然个别学科可能各自颁发毕业和教学文凭。

博洛尼亚大学极度偏重实用科目，特别是法学，这似乎反映，罗马人在古代抗拒希腊文化和不喜好理论的倾向仍然在起作用。不过这对于意大利的科学发展却不见得有不良影响：在下一章我们将看到，在中古与近代意大利数学都领先于欧洲；我们当然更不会忘记，意大利对于近代物理学和天文学有决定性贡献。

萨莱诺医科大学

最后，我们还需要稍为介绍前面提到过的萨莱诺医学院，因为它是欧洲最早的专科学院，而且其特殊历史也颇为值得注意。远从 10 世纪开始，那不勒斯东南 50 公里的萨莱诺（Salerno）就已经是繁盛的医学

中心，一说它和阿拉伯医学从北非和西西里传入欧洲有关，但这被认为没有根据，更可能的是由于东罗马帝国曾经统治南意大利很长时期，古希腊医学传统得以在此发扬①。无论如何，到11世纪在此出现了雏形医学院和大量医学著作，康斯坦丁的翻译工作进一步提高其声望，它因而迅速发展成为全欧洲最著名医学教育中心，12世纪初西西里国王罗杰二世直接加以管制，令它变得更为正规化。然而，它却始终没有进一步发展成多学科和国际性大学，对于欧洲高等教育发展也没有产生显著影响，反而从14世纪以后就一直衰落下去，以迄19世纪初关闭②。它的命运正好从相反角度显示：从专科到多学科，从地方到国际性的过渡，以及直接立足于社会而不过分受国家制约，是中古大学发展、成长的必要条件。

七、经院哲学与综合大学

翻译运动将古希腊与伊斯兰学术注入欧洲，这大大加强了其传统课程中所谓“三艺”特别是逻辑学以及“四艺”亦即科学的内涵。对于已经彻底基督教化的欧洲来说，其思想上最迫切的需要同时也是最富有吸引力的发展，则是将这些新学术应用到神学上去。这样所产生最具中古特色的学问就是经院哲学（scholastic philosophy）③。顾名思义，它就是在学院（school）里面依循一定课程和方式来教授的哲学。

从内容和精神上说，经院哲学大体上是哲学、科学和神学的结合，也可以说是藉着先哲所留下的知识和推理方法——而不再是传统教会所

---

① 有关萨莱诺医学院的渊源，见 Thorndike 1923－1958，i，Ch. 31－32，他并不完全赞同罗舒道尔忽视康斯坦丁和阿拉伯医学影响的观点，即 Rashdall 1958 i，pp. 79－86。确实受阿拉伯文化影响而发展的另外一所著名早期医科大学，是处于法国西南角的蒙波利埃（Montpellier）大学，见 Rashdall 1958，ii，pp. 116－135。

② 关于萨莱诺医科大学的衰落及其原因，见 Bullough 1966，pp. 59－62。

③ 守尔顿的两卷本《经院人文主义与欧洲之整合》即 Southern 1995－2001 是对经院哲学的整体论述，包括其历史、发展、理念与主要人物等等；至于更宽广的背景则见 Copleston 1972 以及 Colish 1997。

依赖的象征、比喻、仪礼、圣事或者神秘经验，来建构一个包容自然世界、人文世界和神圣（也就是超自然）世界的系统之企图。具体地说，这便是以亚里士多德的逻辑学与宇宙观来整理、建构和发展神学。它是产生于座堂学校的新时代产物，而不再是修道院的传统工作。在罗马帝国时代，新柏拉图学派势力浩大，它影响基督教特别是其主要神学家圣奥古斯丁很深。到了中古，翻译运动令注意力转向亚里士多德及其科学，神学的风气因而发生转变，经院哲学由是诞生，这是12世纪前半的事情。和法学一样，这门新兴学科在其初也是由两位立足要津即巴黎大学的杰出学者引领风骚，从而掀起其学习热潮的。他们是阿伯拉和彼得隆巴德这两位无论个性、禀赋、为学方法和成就、影响都迥然相异的人物。

热切冲动的悲剧天才

阿伯拉（Peter Abelard，1079—1142）来自法国西北的布列塔尼（Brittany）半岛，性格热烈冲动，思想锋利，渴望成大名，但缺乏机心和坚忍，所以一生坷坎，不断受到挫折和打击。他在精研逻辑和辩证法的文科大师洛色林（Roscelin）门下受业，学成后数度进军当时的学术中心，希望凭藉敏锐和辩才而扬名。但他虽然声誉鹊起，讲学的雄心则一再受阻于当时已经誉满天下的大师，即拉昂学堂的安瑟姆（Anselm of Laon，1117去世）和香普的威廉（Willian of Champeaux，1070—1121）师徒二人。后来他终于如愿以偿，得以在巴黎圣母院（Notre Dame）座堂附属学校开讲，却又卷入与教堂牧师爱女埃洛伊丝（Heloise）的恋情而身心同受重创（1118），被迫成为修士①。此后他终于得偿所愿，成为风靡欧洲年轻学子的大师，但在学界敌人特别是保守的西多修道院（Cistercian Monastery）创院院长巴纳德（Bernard of Clairvaux，1090—1153）攻击下，他的学说在1121年和1140年两度在宗教大会（council）中遭到正式谴责

---

① 这段惊心动魄、荡气回肠的恋情在中古极其有名，埃洛伊丝后来入女修道院做院长，其与阿伯拉的情书集亦成为西方爱情文学的经典。

(condemnation)，最后仅由于克吕尼修院院长的一力维护，他方才免于逮捕和关押命运，得以在修院度过余生①。其实，阿伯拉以其思想、口才之锋利而疯魔学子，但他的学术根基仍然是波伊提乌所翻译的两三种亚里士多德和波菲利的逻辑著作，即历代相传的“旧逻辑”：他与阿德拉同时，所以还不是能够享受翻译运动成果的人。

阿伯拉最重要的著作是《基督教神学》(*Theologia Chritiana*) 和《是而非》(*Sic et Non*)，它们大致成书于1120—1130年代，前者是他通过文法与逻辑的研究对基督教教义的重新阐释，其中有关历来争议最多的“三位一体”教条之新解最受攻击，亦是他后来受教会谴责的导火线；后者在近代最有名，它是一部历代教父、神学家对各种问题见解的庞大汇编，以及作者就牴牾意见所提出的解决。此书突出了经院哲学的两个特点：首先，是从权威性传统文献全面撷取重要片段，即所谓“撮要”(extracts)，然后按照作者所设计的系统分门别类，加以汇集，以便检索；其次，则是运用逻辑来深入辨析、解剖有关同一命题的相反意见，以披露其症结所在。这也就是建构“系统神学”的基础工作。它并非阿伯拉所发明：安瑟姆所开创的拉昂学派在长时间讲学中留下的《金石言》(*Pancrisis*) 和《圣经注疏》(*Glossa Ordinaria*，这要到12世纪末才完成) 就是这种系统建构的先声，而阿伯拉曾经受教于安瑟姆和香普的威廉，深受他们的影响。另一方面，《是而非》受教会谴责之后虽然销声匿迹，却仍然留下大量手卷，足证在当时它继续流传，有极其广泛的影响力。在此书之后即12世纪中叶出现的彼得隆巴德《撮要汇编》和格拉提安《诏令》就都是以之为模范，那是没有疑问的。

沉实稳健的编纂家

彼得隆巴德 (Peter Lombard，1095—1160) 是意大利北部隆巴德地

---

① 由于他的崭新学风与在年轻学子间的巨大号召力，阿伯拉在某种意义上可以被视为巴黎大学的创办人。这观点以及他与巴黎大学雏形的关系，见 Compayré 1969 [1893]，特别是 Ch. 1－2；至于他的事迹见下列传记：Clanchy 2002；有关他学术的评述以及与教会特别是巴纳德的冲突，见 Southern 1995－2001，ii，Ch. 7－8。

方人，先后在博洛尼亚和法国兰斯就学，一直到不惑之年才通过老师奥度主教（Bishop Odo of Lucca）和上述巴纳德院长推荐，得以到巴黎圣母院大教堂学校开讲（1138）①。他为人沉实稳健，得此良机就连连擢升，二十年间从座堂神父、助祭、主助祭、主事一直做到巴黎大主教（1159）。同时他以十余年工夫（约 1145—1158）完成了不世功业，即是以老师奥度的神学《文献汇编》（*Summa Sententiarum*）为基础，参照阿伯拉《是而非》和格拉提安《诏令》，编纂出庞大周密的四卷《撮要》（*Sentences*），这迅即成为中古神学最权威的典籍和教科书，相沿数百年不替。

彼得并非原创性学者，甚至他撷取的古代文献也往往是从其他汇编转引得来，然而他的《撮要》却具有无可替代地位，这主要是基于以下几个原因。首先，它包含了五千余段重要文献的撮录，自教父著作、教会会议文件以至教皇书信、诏令等等，靡不网罗，因此具有神学全书性质。其次，它的结构清晰合理：首卷关乎于上帝本质，特别是“三位一体”教义，次卷关乎上帝所创造的世界，卷三关乎耶稣降生及其教训，卷四关乎教会仪礼即“圣事”，每一卷也都条目井然。最后，不但每段撮要都附有作者的简明注疏，而且关于每项教义还有综述。

在 12 世纪前半叶，建立在隆巴德《撮要》和拉昂学派《圣经注疏》这两部庞大、精密典籍上的神学体系无疑是风靡学界的新追求。但我们不可忘记，翻译运动此时也进行得如火如荼，到了世纪之末，欧洲就将为古希腊和阿拉伯科学、哲学典籍的巨大浪潮所强烈冲击。这两个好像密切相关其实底子里大不相同的领域——经院哲学和科学，将会很自然地成为巴黎大学课程的核心，并且在彼此之间产生微妙互动乃至冲突。

座堂学校的发展

所谓“大教堂”或“座堂”（cathedral）就是主教“座位”（*cathedra*）

---

① 有关彼得隆巴德的论述见 Southern 1995 - 2001，ii，Ch. 9。

所在的教堂。罗马教会的早期领袖有不少是罗马贵族，所以教会本身也沿袭罗马帝国行政组织，“主教”相当于驻节主要城市的地方行政长官，他有责任管辖治下“教区”（diocese）——这不但包括举行日常和特殊宗教仪式，而且区内民众一应婚丧嫁娶、遗嘱继承、宣誓契约，乃至教育宣谕等“民事”行政和审裁也向来视为教会管辖范围。显然，主教必须有众多经过长期教育、训练的教士来协助处理“主教府”、“座堂”和教区辖下众多“牧区”（parish）的事务。因此，从很早（不晚于奥托大帝时代）开始，座堂就已经设立学校以作为教士培育机构，这些学校后来也慢慢开放给教士以外的学子。本来，在所谓“黑暗时代”，西欧学术主要保存于修道院，这不但因为它一般位于郊外甚至荒野险阻之地，力求与外界隔绝，不受战乱纷争干扰，而且它资源充裕，一般有藏书室、抄写间等设备，修士在祷告、诵经、冥思之余，还有余暇从事阅读、编纂、著作。然而，修道院本是为了虔修，在此前提下学术发展自然有极大限制。更何况，修道院的封闭环境也只鼓励经典的传授、记诵，而不利于新思想传播和不同观念之折冲激荡。因此，很自然地，当十一二世纪新思潮风起云涌之际，处于大城市而能够轻易感受时代气息的座堂学校就迅速取代修道院，成为学术中心。

当时在法国北部平原出现了许多繁荣的城市和相应的座堂学校，像兰斯、拉昂、夏特尔、图尔斯和巴黎是其中最有名的，而且各有相当悠久的学术渊源。例如，我们在本章开头提到的热尔贝就曾经在兰斯座堂任主事和学校教授——在其初，这两个位置往往连在一起，而且每所学校只由一位教授负责。像他与富尔伯特、贝伦加尔、拉法朗等四代师徒所形成的学统，可以说是座堂学校体制的重要基石。但和巴黎大学关系更密切的，是前面提到过的安瑟姆和劳尔夫兄弟，他们在学术上并无突出成就，但在1070—1130年这六十年间，坚守拉昂座堂学校，勤恳任教，风雨无间，建立了系统神学的传统，也造就了大量人才，其中在11世纪末到巴黎圣母院座堂出任主助祭和教授的香普威廉就是巴黎第一位名学者。至于曾经师从安瑟姆和威廉的阿伯拉，以及其后的彼得隆巴德，则无疑是令巴黎在12世纪如日中天，超过所有其他城市，而成为法国乃至欧洲学术中心的

重要动力①。

从座堂学校到大学

巴黎大学是从圣母院座堂学校蜕变出来的，在学术上以“文科”（arts）和经院哲学（scholasticism）、神学为中心，在组织上以教师（master）为主。这是日后所有“综合型”大学的前身，诸如英国的牛津、剑桥，德国的科隆、海德堡等大学都以它为原型②。它和博洛尼亚大学一样，也是在12世纪“自然地”发展出来，而并非人为设立；而且，在其初也是由香普威廉、阿伯拉、彼得隆巴德等少数杰出学者吸引大批学子，从而触发其蓬勃生长。但为什么在众多座堂学校之中巴黎能够脱颖而出，吸引著名学者和大批学生呢？这可能因为它位置居中，交通便利，物资充裕，周围有大量土地可供扩展，而且，除了市内的圣母院（Notre Dame）座堂以外，还有塞纳河南岸的圣维克多（St. Victor）和圣热纳维耶芙（Ste Geneviève）等“城市化”的修道院与之鼎足而三，因此有可能容纳大量远道而来的学生以及众多相互竞争的教授。正所谓“有容乃大”，巴黎是整个法国的心脏区域，容量也就远远超越如拉昂或者夏特尔那样的城市。但也许更重要的是法国王室政策：当时卡佩王朝刚刚取得政权未久，它所能够直接控制的区域实际上只不过是巴黎弹丸之地，其外则强悍侯国环伺，因此每当大学与主教或者市政府冲突的时候，王室总是维护学者的权利和自主。这开阔心胸和远大眼光恐怕才是巴黎大学飞跃发展，超越其他座堂学校的根本原因③。

---

① 安瑟姆及其弟劳尔夫在拉昂座堂学校任教总共60年之久，他以谨慎、正统著称，造就弟子无数，其中的香普威廉是声名最著者。拉昂座堂学校所代表的是卡洛林帝国时代旧传统，这与巴黎座堂学校恰成对比；安瑟姆则是此传统最后一代，所以被守尔顿称为“未来教授的教授”；阿伯拉则是新一代教授的前锋。有关此转变见 Southern 1995－2001，ii，Ch. 2，并见404页注3。

② 罗舒道尔的《欧洲中古大学》第一卷对巴黎大学的起源、历史、体制、各学院（包括Faculty 与 College）状况等等都有极详细论述，见 Rashdall 1958，i，Ch. 5，pp. 269－584。

③ 有关法国王室优待大学政策的讨论，见 Bender 1988，pp. 22－43。

“教授大学”的形成

巴黎座堂学校在12世纪初还是默默无闻，但香普威廉为它带来了声誉，阿伯拉和威廉的激烈竞争更造成同一城市有两位教授，以及课程可以开设于座堂以外地点的先例，来巴黎就学的外地学生数目因此大幅度上升。到了1140年，巴黎已经有12位教授同时开讲，远远超过其他主要座堂学校如拉昂和夏特尔。事实上，早在1127年，巴黎主教就已经被迫禁止外人在圣母院讲学，其后课室更不断向附近扩散，同时讲授的课程也从传统的文法、逻辑转向神学和经院哲学。事实上，巴黎大学的出现是和学生数目的增加、课程的确定，还有学制的形成分不开的。所谓学制大概是在1150—1170年间逐渐形成，基本上指学生修业期满，经过教授出具证明，可以得到圣母院主事（chancellor）颁发“授课资格证书”，并且举行称为“inception”（即今日所谓“commencement”）的盛大就职仪式以公开宣扬其资格——日后的大学毕业典礼即由此蜕变而来。这一制度为学生晋身教授行列提供正规途径，也为教授和学生数目急速增长打开闸门。同时，通过教宗和国王的特殊照顾，大学自主权也在逐步扩大。1179年教宗亚历山大三世颁令，规定座堂主事必须颁发授课证书予所有符合资格的申请者，而且绝对禁止为此收费。到1200年，在发生一起人命伤亡的学生与市民冲突事件后，法王腓力（Philip Augustus）不但严厉惩处为首的官员和市民，而且赋予学者特权，使他们免受民事（无论是市府或者王室）管辖，而只受更宽大的教会法管制——也就是将“教士”特权赋予整个大学社群，并且颁令巴黎总监（provost）在就任时须宣誓保护此特权。为了方便，这一年就被定为巴黎大学的起点。

不过，在此起点上的所谓大学，其实仍然只是教授和学生的松散集合体，不但其地位仍然远远未曾确定，甚至也还没有明确组织形式。巴黎大学之真正成为法人（corporation），并且确立高度自治（甚至接近于独立）地位，是它在整个13世纪与周围所有建制力量——市府、王室、教会的多次激烈抗争结果。换而言之，它只是在显示出足够的强大力量来支撑其

所追求的独立性之后，才终于在建制中获得彻底承认和稳固地位。

与建制的长期抗争

在这长期抗争中，大学主体是受到学生支持的教师协会亦即“教授公会”（*consortium* of masters）。抗争大体上经过了三个阶段：第一阶段历时大约十年（1210—1222），对手是圣母院主事和巴黎主教，“战场”主要在教廷，冲突焦点是大学的法人地位，以及地方教会是否仍然可以对大学（在他们眼中仍然是座堂学校）行使传统管辖权。具体抗争内容包括：教授是否必须宣誓服从座堂主事，何者具有颁发“授课证书”最后决定权，教授公会是否有权使用共同印信，制定本身法规，选举负责人，以及派遣代表到教廷进行申辩、诉讼等一系列重大问题。至于结果则是：由于历任教宗的支持，大学获得了有限度胜利——也就是说主教再无法强制行使管辖权，象征主事权力的监狱被勒令撤消；然而，大学的选举和印信仍然为教廷禁止。

第二阶段冲突（1229—1231）起于学生闹事，巴黎总监强硬镇压导致学生丧生。学生的气焰之高激使巴黎主教、教廷代表（papal legate）和国王联合与大学对立。冲突发展至如此严重局面，教授公会就只好使出最后武器，即仿效博洛尼亚的策略，宣告大学解散，教师、学生也真就各散东西。僵持一年之后，由于教皇仍然支持大学，而巴黎在声誉和经济上则大受打击，国王被迫软化，总监受到惩处，1231 年的连串教皇诏令也再次限制主事和主教的管辖权限，并增加大学自主权，包括承认它所选举的代表。除此之外，圣热纳维耶芙修道院（它不受主教管辖）也获得了颁发授课执照的权利，从而打破圣母院主事的独占权。

第三阶段冲突（1252—1261）最为严重与艰苦，它来自意想不到的新方向，即是刚刚出现的多米尼加修会（Dominicans，成立于 1217 年）与方济各修会（Franciscans，成立于 1230 年）。当时历史悠久的克吕尼派和西多派修院已经由于过分注重既得利益而失去朝气与动力，他们的退隐理念也不再适应迅速城市化的社会。新兴的这两个所谓乞讨派

(mendicant）或者游方修士（friar）修道会则秉志高洁，一意以服务、教化群众为念。多米尼加派尤其注重新兴学术，甚至以博洛尼亚和巴黎这两个大学城为修院中心，并且另行开设大量学校以培训人才。然而，这些修士在巴黎神学院中成为教授之后却自认为具有特殊身份，拒绝宣誓无条件服从大学法规和指示，这就产生了不可调和的巨大冲突，因为大学整体的力量正是建立在其个别成员的完全、无条件服从之上。故此大学通令所有教授、学生杯葛修士的一切学术活动。在冲突之初，教廷倾向于调停争端，但1254年登基的教宗亚历山大四世（Alexander IV，1254—1261）却完全倾向于修会，发出连串压制大学的诏令，于是大学再次被迫宣告自我“解散”（dissolution）作为抗争对策，同时消极抵制接纳修士的诏令。不过这并不完全成功，因为在大学解散后，个别学院、教师仍然照常授课。这对抗前后僵持了七年，直至新教宗乌尔班四世（Urban IV，1261—1264）登基才获得解决：表面上大学被迫对修会作让步，但其基本立场和实质要求则得到确认。而且，大学还在不断发展和壮大之中，半个多世纪之后（1318），它重新要求修士教授宣誓服从大学法规时，就再也没有遭到反抗了。

体制上的发展

巴黎大学的内部体制发展与上述抗争同时进行，最后结果与博洛尼亚大学相似，但两者也有主要分别：首先，由于传统影响，在巴黎大学势力最大的是文学院和神学院，而非法学院；同样重要的是：大学主体由教授而非学生组成。

在12世纪末期，即在学者获得国王颁布特权之前，巴黎大学的文、法、医、神学等四个“学院”就已经齐备了。四院之中讲授基本课程的文学院虽然名为“初等学院”（inferior faculty），却最重要，因为它人数众多，力量最大，所以共同选举出来的“院长”（rector）后来被承认为代表全大学，最后成为大学校长。文学院的众多学生根据乡土分别属于法国（包括南欧）、英国（包括德国）、皮卡第（*Picardi*）、诺曼底等四个不同“国族”，他们各自选举称为“procurator”或者“proctor”的代表，这

后来成为大学的学生监督。文学院毕业生就是“文科教授”（master of arts），一般有义务视乎大学需要留校任教两年，这些称为“任事教授”（regent master），以区别于取得资格但并不授课者。

学生获得文科毕业资格后才可以进“高等学院”（superior faculty）研修法、医、神学等专业课程。在这三者之中神学院最为重要：它不但有悠久传统，而且是罗马教廷所全力培植的学科；至于法学院则规定只准许教授“教会法”（canon law），到很后期才准许开设“民事法”（civil law），这是由于罗马教廷为了维护教会影响力所采取的特殊措施。从这一点也可以窥见，大学通过激烈对抗而争取的自主权主要是在管辖权方面，对于学术自由却并不那么重视，事实上是承认教廷权威的。然而，那也只是在重大问题和形式上如此，在实质上主教乃至教廷对于大学所讲授的具体科目和课程内容仍然无法控制，下一章所会谈到的亚里士多德哲学之“禁而不止”就是最好例子。专业学院各自选出的代表称为“dean”，这后来成为各院院长。原则上各学院可以自行制定法规，但大学整体法规则凌驾于学院法规之上。

在学院之外，还有所谓“书院”（college，它往往亦被翻译为“学院”），它起源于教会、君主、主教、贵族等通过财产捐赠而设立的组织，目的在于为具有特殊资格或者身份的学生提供宿舍、补助金、奖学金等等，在其初并没有教育功能。这体制大致在13世纪中叶即第二次抗争胜利之后确立，到1500年书院已经达到六七十所之多，它们的历史、组织、法定地位、与大学的关系等是个复杂问题，我们在此就不进一步讨论了。如上一章所说，以书院资助贫寒学生，以及颁授学位作为有资格授课凭证的体制，大概起源于伊斯兰世界的“高等学院”：后者同样是以慈善捐赠为基础的社会教育体制，而且从头开始就具有颁发文凭的权威。这是和伊斯兰教基本理念密切相关的，因为在其中个人可以直接与先知沟通，而并不如基督教承认有组织教会的权威①。

① 此说详见 Makdisi 1981 以及 Makdisi 1990，Pt. I，Ch. 3。

八、大学体制的扩散

就体制而言，欧洲其他大学都是以博洛尼亚和巴黎为原型，或者是由它们所直接衍生。例如牛津大学很可能是由巴黎大学衍生，而剑桥大学则肯定是由牛津所衍生。这样，大学就在欧洲各国散播开来，逐渐成为普世性教育与学术体制。这从它们数目的增长可以清楚地看出：最早期大学出现于十二三世纪间，在此时期之末即1300年它总共有15所，其中法国和意大利各5所，西班牙3所，英国2所。到了1378年基督教会大分裂（The Great Schism）的时候，这数目几乎加倍，增加到27所，新增的主要在东欧，特别是布拉格和维也纳，以及意大利北部和法国南部。到中世纪末即1500年它的总数再次加倍，增至62所，其中最显著的新增是北欧、德国、瑞士和苏格兰的17所，以及西班牙、法国中南部和北意大利的将近20所。粗略地说，大学体制是以博洛尼亚—巴黎为轴心，向西南（西班牙、法国中南部）和东北（德国与东欧）两个方向扩散，大学的总数在两个世纪间翻了两番①。

那么这些大学的规模如何呢？根据罗舒道尔的估计②，博洛尼亚和巴黎大学在最鼎盛而没有多少竞争的时期，每校学生人数也只在6000—7000之间，至于牛津则在1500—3000之间。但在15世纪随着大学体制的散播，每所大学的学生人数相应下降，可能只有上述的一半了；至于其他新设立大学规模自然更小，大约在200—1000之间，而能够接近或者达到1000的，只有布拉格、维也纳、科隆等少数。倘若粗略估计每所大学平均人数为500，那么全欧洲大学生人数便应当在30000左右，每年文科和高等学院毕业生数目大约达到6000—8000，从长期来说，这对于欧洲文

---

① 以上数据是根据 Ridder-Symoens 1992，pp. 69 – 74 的大学地图计算，大学数目分别以1300年、1378年以及1500年活跃的大学为准，也就是说地图所示创办后停办，或者其活动不确定的那些大学不计入。此外 Compayré 1969［1893］，pp. 49 – 52 也列出13与14世纪大学名单，这与以上的征引有细微出入，主要因为有些已经设立的大学其后又停办了。

② 见 Rashdall 1958，iii，Ch. 13。

化与专业必然要产生相当大的冲击。

牛津大学的起源

英国最古老的大学是如何在牛津出现？这问题颇有争议，其中一个很有吸引力的观点是，它起源于英国国王亨利二世（Henry II，1154—1189）与坎特伯雷大主教贝克特（Thomas Becket，1118—1170）的著名争端：后者出亡法国并且得到与教皇站在同一阵线的法王路易七世收容、保护，因此英王亨利于1167年愤而召回巴黎大学的大量英国学生和教授——自然他们也可能是为法王所驱逐；这些学者随后聚集在牛津郡讲学，从而发展出英国第一所大学。这种观点曾经受到挑战，但以下两点是可以肯定的：在12世纪之初牛津已经有相当活跃的学校，它们并不受任何教堂或者修道院管辖；这些学校之发展成为具有许多教授和课程的“大学”（*studium generale*）则是在1170—1180年代，即亨利—贝克特发生争端之后数年的事情①。

无论如何，牛津大学的发展很早，模式与巴黎相似，虽然国际性有所不及，但声望也可以相比②。它作为大学初次见诸史籍记载已经是1209年，当时有女子为学生所杀，国王约翰批准处死两个学生，从而导致大学“解散”，据说离开牛津他往的学者竟达到三千之众。他们有相当部分迁移到剑桥继续讲课，由是促成英国第二所大学，即剑桥大学的出现。但直至15世纪中叶为止，剑桥的发展非常缓慢，学生数目、体制建构、学术水准和声誉都远远无法与牛津相比。后来剑桥之所以能够赶上老大哥牛津，主要是因为牛津大学当局大力支持与教廷直接对抗的威克里夫（Wyclif）运动，这使得它与教会和王室之间出现严重分歧，其影响力由是下降，遂令剑桥得以乘时而起。

牛津的“解散”正值英王约翰和教皇英诺森三世为了坎特伯雷大主教

---

① 这理论是 Rashdall 在他的巨著中所提出，见 Rashdall 1958，iii，29，note 2 的综合说明，那是该书1936年再版时由修订者所附加。

② 罗舒道尔对牛津大学的起源、历史、发展、体制有详细论述，见 Rashdall 1958，iii，pp. 1－273；同书 pp. 274－324 是对剑桥大学的论述。

的选举而激烈对抗，到1213年约翰终于全面向教廷屈服，翌年教皇特使驾临牛津大学颁布法规，为学生平反，并且赋予大学一系列特权，大学从而获得法定地位。事实上，在此之前牛津大学的管辖权是不很明确的，可以说是个谜。这是因为牛津属林肯教区，牛津本地并没有“座堂”，所以也没有主教或者助祭。上述法规首次提到，要由林肯主教或者该座堂的主助祭、主事来管辖大学，但牛津距林肯将近200公里之遥，管辖权如何实施仍然是问题。格罗斯泰特（Grosseteste）是牛津毕业生，后来做到林肯主教，他是牛津大学首届校长（1214—1221），但所发布的名义却只是非正式的“学长”（*Magister scholarum*），而并非“chancellor”或者“rector”。在他之后大学似乎是自行选出“监督”（chancellor），再呈请主教委任——到后来这完全成为具文。无论如何，牛津大学的监督是由大学内部产生，他在名义上是主教代理，实际上则全然以大学利益和意志为依归。因此在法理上牛津和巴黎有极为基本的分别：前者的“监督”就是它的“首脑”（head）；后者的“监督”却并非大学一分子，而往往是带有敌对意味的外来力量。这一差别使得牛津在重大问题上容易团结一致。14世纪末的威克里夫反教廷运动之能够以牛津大学为中心，并且历久不衰，就是最好的例证。

最后，“书院”（college）是牛津和剑桥体制很重要的一部分，也可以说是其特色。它和巴黎大学书院的起源大致相同，但是后来的发展却有巨大差别。巴黎大学可以直接干涉、管辖书院，甚至变卖其财产，因此书院不啻大学整体之一部分。在牛津、剑桥则各书院都是独立法人，它的“院士”（Fellow）有全权管理书院财产与事务，而且具有“受托人”（trustee）身份来处理房屋、财产等重大问题。这高度独立性使得这些书院得以维持它们的个别性与特色至今①。

欧洲其他大学的发展

除了牛津这最早的例子以外，博洛尼亚和巴黎的成功典范从13世纪

---

① 有关这两所大学的书院，包括其个别书院的历史，见 Rashdall 1958，iii，pp. 169－235，293－324。

初开始，也散播到整个欧洲，特别是意大利和法国①。如上一节所提到，博洛尼亚学生在 1222 年集体离城出走，迁徙到邻近的帕多瓦，后者的法律学院因而蜕变成为大学。而且，由于它位于富庶和急速发展中的威尼斯附近，所以能够不断扩张，成为最有名望的意大利大学之一。其他意大利大学出现于十三四世纪期间，它们都偏重法律和医学，文科不受重视，神学更处于边缘位置。这些大学可能是由学生迁徙所衍生，也可能由城邦或者政府主动设立，但通通属于“学生大学”类型。然而，到了 15 世纪，随着“带薪讲座”逐渐增加和变得日益重要，掌握财权的城邦政府在不知不觉间控制了大学行政，特别是教授的遴选和委任。不过，这权力转移过程是由城邦主导，教授和地方教会始终没有发生作用，这是意大利型和英法型大学的一个最基本分别。

在巴黎以外的法国大学有多种类型。法国南部（当时还不属法国）的蒙波利埃（Montpellier）大学和萨莱诺一样，也起源于独立的医学院，它在十二三世纪名声极盛，但从 15 世纪开始就和政治、经济一同衰落了。离巴黎不远的奥尔良（Orléans）大学在 1235 年以后成为最重要的法学中心，最可能的原因便是教皇在 1219 年为了维护神学而颁令禁止巴黎大学教授民法，而巴黎大学在 1229—1231 年间出现解散风潮，因此有大量法学家迁移到奥尔良。但他们颇受当地主教压制，一直要到 1320 年才再度以“迁徙”抗争方式获得有限度自主权。法国西南部的图卢兹（Toulouse）大学则是由教廷和王室联合颁令成立，主要目的是发扬正统教义，因此最注重神学。整体而言，这些南部大学和巴黎几乎背道而驰：它们都不注重文科，除了少数例外，几乎都以法学、神学为中心；在相当程度上都还受当地主教管制，自主权不大；校内权力大体由教授和学生共享：前者才能担当“rector”和“proctor”等职务，但后者有选举权。

至于西班牙和德国大学，则都是由国王或者神圣罗马皇帝颁令成立，而并非“自然成长”。西班牙最著名的萨拉曼卡（Salamanca）大学早在 1227—1228 年就成立了，但德国与北欧大学却都出现很晚，像科隆的学

① 有关博洛尼亚、巴黎、牛津、剑桥以外欧洲各国其他大学的论述，见 Rashdall 1958，ii。

堂虽然在13世纪中叶就已经有大名鼎鼎的教授如大阿尔伯图（Albertus Magnus）任教，但它发展成为多学科的正式大学是1388年的事情；至于著名的布拉格（Prague，1347—1348）、维也纳（Vienna，1365）、海德堡（Heidelberg，1385）等大学也都是14世纪中期或者以后方才出现，比起早期大学晚两个世纪。这多少说明，当时中欧文化比较落后，有很长时期学子还是必须往南方求学的。

*　*　*　*　*　*

9世纪的阿拉伯翻译运动与12世纪的拉丁翻译运动分别导致了伊斯兰与中古欧洲的科学萌芽与发展。令人迷惑的是：伊斯兰科学在12世纪之后开始萎缩，在15世纪之后陷入停滞和衰落，但中古欧洲的科学从13世纪开始却一直发展没有停顿下来，以迄17世纪发生现代科学革命。这两者为什么会有如此截然不同的命运？我们在上一章末将此归结为欧洲大学与伊斯兰高等学院在理念上的差别：前者秉承古希腊重智传统，发展成为以传授、发现知识为主的多学科学术中心，后者比前者虽然出现更早，甚至在某些方面是欧洲大学的前驱，然而它始终为保守的伊斯兰传统所笼罩，不能够脱离宗教法理学的范畴。因此，欧洲大学可以发展成为科学安身立命的家园，大学的扩散意味科学在全欧洲生根、开花、结果①；伊斯兰科学则自始至终是君主、藩王、贵族所鼓励、赞助、扶持的学问，在一般高等学院中并无稳固地位——即使它后来成为正规课程的一部分，也只是占很轻分量和地位，没有发展余地。9世纪之初马孟所发动的“正统运动”失败对伊斯兰科学是个不祥之兆，意味着它至终无法在高等学院也就是社会上繁荣滋长。所以，归根究底，欧洲大学的活力与发展历程，恐怕还是要回到西方文化源头，即希腊哲学与科学传统、罗马法律传统，以及这两者对于后起的基督教之深刻影响，甚至可以说是无形中的塑造琢磨之功，才能够得到了解。

---

① 对于欧洲中古大学是环绕着重智的基本精神发展这一点，见维尔泽下列论文：Jacques Verger, “The First French Universities and the Institutionalization of Learning: Faculties, Curricula, Degrees”, in Van Engen 2000, pp. 5 - 19。

第十章　中古科学：实验精神与动力学

欧洲的主旋律在11世纪是教皇革命和军事扩张，在12世纪是翻译运动、经院哲学和大学出现，在号称“中古盛世”（High Middle Ages）的13世纪则是教会权威和神学发展达到巅峰。然而，这也是欧洲科学兴起的世纪。它从萌芽以至现代科学出现前夕有足足四个世纪之久（1200—1600），它大致上为黑死病肆虐和英法百年战争从中分隔为中古（1200—1400）和文艺复兴（1400—1600）两个时期，这分别在本章和下一章讨论。

中古科学基本上是受亚里士多德典籍与观念笼罩的，其发展以“实验科学”为主，具体而言，就是光学和力学，这在亚里士多德体系中属于“月球下”（sub-lunar）亦即“地上”现象，与亚历山大传统中的数理天文学属于完全不同范畴。然而，中古科学与古代的亚里士多德科学有个基本分别：它不再如亚里士多德那样，用目的论来“解释”地上现象，而试图用数学（虽然只是很粗浅的数学）来“计算”这些现象，也就是要将亚历山大科学家的量化精神引入“地上科学”。这是极重要的决定性一步，因为地上现象向来被视为关乎纷扰杂乱的“观感”（sensible）事物，因此并不服从严格规律，也无法用数学计算。中古科学则改变了这个观念，从而将科学引导向崭新方向。事实上，如本章所将显明，17世纪的光学、解析学和动力学等三方面都是继承中古科学

而来的[①]。

但为什么科学在沉寂七百年之后，竟然能够在中古欧洲再度萌芽和发展？毕竟，当时基督教信仰已经成为时代精神，而那是和科学所需要的理性、客观心态截然相反的。这是个相当复杂的问题。当然，我们可以说，通过罗马帝国末期的编纂工作，古代学术光辉成就仍然在思想底层发生作用，而且逻辑与科学已经成为经院哲学的基础，亦即通往神学的必经之路，从而保证了科学在大学中的生存和发展。换而言之，古代“侍女”观念继续在中古发生作用。

然而，这不可能是全部答案，因为在大学中教授的科目往往沦为注释记诵之学，并不见得就会导致创新。例如，古希腊科学在东罗马帝国的学校一直讲授不辍，在奥图曼帝国的高等学院也同样是基本课程一部分，但经过了多个世纪，它始终没有在这两个体系中产生任何重大发展。更何况，从 13 世纪开始，基督教教义与自然哲学之间的矛盾日益明显，从而导致教会与大学之间的长期角力，最后甚至发展成为激烈的直接冲突。然而，这仍然没有影响自然哲学的蓬勃发展。因此，欧洲中古科学背后必然有极为强大的推动力，令它能够克服学院课程的惰性，或者激发在大学门墙以外的发展，更能够冲破基督教会的压制和规限。这动力到底从何而来，是个非常不容易回答的问题。也许，强大古代传统的微妙激励作用，国际性大学的自由与活跃气氛，乃至由军事和长程商贸扩张所造成的动态社会，都是答案的一部分。但除此之外，基督教本身对于科学也可能有意想不到的促进作用。大阿尔伯图是科学家也是教会领袖和渊博的神学家，

---

① 格兰特（Edward Grant）的《现代科学在中古时代之基础》即 Grant 1996 是简明、全面的中古科学概观，对科学从中古转变到现代的关键有深入讨论，但此书仅及于动力学及相关问题。Grant 1977 为作者早期同类作品，虽然观点较陈旧，亦扼要可读。至于克伦比（A. C. Crombie）的两卷本《从奥古斯丁到伽利略》即 Crombie 1961 则是较详细的中古及近代科学史，覆盖面颇广，及于数学、光学、磁学、炼金术、化学、生物、医学等其他方面，正可以补格兰特之不足。中古科学的研究以上世纪初的迪昂为前驱（见以下第二节），比他稍后有桑达克的八卷本《魔法与实验科学史》，其中前三卷资料对于本章至为有用，见 Thorndike 1923 – 1958，i – iii。有关中古力学及光学的原始资料与论述，则分别见下文所引克拉格特（Clagett）、林伯格（Lindberg）与格兰特等的专著。

他不但强调自然规律的存在，而且认为这是上帝运转世界的方式，发现此等规律适足以彰显上主大能（见§10.3）。这一思想成为后代许多科学家努力探索自然奥秘的原动力，开普勒和牛顿只是其中最明显的例子而已。在此意义上，我们可以见到毕氏教派与科学之间的亲密关系重现于基督教的科学观。这也就是为什么中古科学家来自不同国籍、不同阶层家庭，身份可以是大学教授，却往往也同时是教士、神学家、主教，甚至大主教。这多少说明，从13世纪开始，科学亦即自然哲学和基督教一样，已经同样是欧洲国际文化的一部分，而大学则是其滋生温床①。所以，要了解欧洲中古科学，必须从基督教会开始。

一、从奋进到分裂的教会

欧洲的12—14世纪是基督教的高潮，也是其至高理想得以实现的时期，宗教精神几乎笼罩一切。它的理想见之于安德烈（Andrea de Frienze）所绘14世纪壁画《奋进和胜利的教会》（*Church militant and triumphant*），它生动地描绘了当时基督教观念中的世界秩序：画上方是天使天军环绕的天主，下方居中是教皇，左边是皇帝和君主，右边是修会领袖和主教，前面是芸芸众生；画右方有圣多尼米（St. Dominic）在传教，圣多玛（St. Thomas）在辩论，还有圣彼得指挥狗群撕裂异教徒！此处所谓"奋进和胜利"所指，是基督徒在世时奋斗，死后得以顺利进入天堂的理想，但也隐含更现实的具体意义，即早期基督徒在迫害下奋斗不屈，教会在中古早期的宣道与感化工作，以及"教皇革命"迫使世俗君主承认教会和教皇无上权威。至于由此所建立的人间秩序应当以罗马教会为中心，其实早已经由奥古斯丁在其《上帝之都》（*City of God*）提出来，而这秩序是要用力量，包括以圣多尼米和阿奎那为代表的性灵力量和

---

① 格兰特将"神学家—自然哲学家"的出现列为（现代）科学革命的三个先决条件（preconditions）之一（翻译运动和大学兴起是其他两个），足见他对此的重视，见Grant 1996，pp. 171－176。此外他对东罗马帝国、伊斯兰文明以及中古欧洲的科学发展也做了比较，见同书pp. 182－191。

以圣彼得为象征的政治力量来维护的①。

罗马教会权威和力量的变化恰好以分别处于这个时期（1100—1400）首中晚三段的三位教皇，即格里高里七世、英诺森三世（Innocent III，1198—1216）和卜尼法斯八世（Boniface VIII，1294—1303）为代表。上一章提到，格里高里七世是教会振兴者，他所发动的革命使得教皇权威直追甚至凌驾神圣罗马皇帝之上。后来“授职权之争”以妥协结束，它宣告主教兼有政教功能，所以须为皇帝与教皇双方所接纳，但这只不过是更大规模权力斗争的开始。在英国，英明有为的亨利二世颁布旨在控制本国教会的“克伦顿宪章”（Constitution of Clarendon），为此与坎特伯雷大主教贝克特冲突，最后导致后者在座堂大门被谋杀（1170），亨利因而被迫忏悔和撤销宪章。四十年后，由于坎特伯雷大主教继任人选之争，国王约翰与教皇再起冲突，结果在禁制令和革除教籍双重打击下约翰彻底屈服（1213），自甘沦为教皇附庸（vassal），而以英国为教皇所赐封土。

当时的教皇英诺森三世无疑是彼得宝座上最大有为、政治手腕最强的人物。在他任内，罗马教会无论在宗教抑或政治上，权力都达到顶峰：全欧洲教会、主教实际上都受他节制；英法国王在名义上都成为他的臣属；他所发动的第四次十字军更洗劫君士坦丁堡和一度覆灭东罗马帝国——虽然这并非他本意。他临终前一年所召开的拉特兰宗教大会（Lateran Council IV，1215）规模空前盛大，它集中了欧洲所有政教领袖，并且通过了无数极其重要的教条、法规、指令。教皇作为天主在地上代牧（vicar）这一理想的实现，在他身上无疑是最为接近了。然而，以今日的后见之明看来，英诺森的统治同时也就是罗马教会盛极而衰的开始：他操纵神圣罗马皇帝的继承，然而亲自挑选的“婴儿皇帝”腓特烈二世（Frederick II，1212—1250）日后成为教会心腹大患；在和德国霍亨斯陶芬（Hohenstaufen）家族的斗争中，教廷似乎获得胜利，然而许多国家的民族意识正在此时抬头，由之

---

① 奥古斯丁关于现世具有高度等差组织的教会即为“上帝之都”的说法，见 Walker 1959，p. 167；但该书所征引的《上帝之都》篇章可能有误。关于教会的力量，卜尼法斯八世有所谓教会“双剑”之说，即“心灵之剑”（spiritual sword）由教士直接运用，而“世俗之剑”（temporal sword）则由君主为教会运用，它是要服从教会意志的。

产生的政治力量至终颠覆了罗马教会的“普世性”理想。

教廷的迁徙与分裂

13 世纪以教皇英诺森三世开始，以悲剧性亦复不乏滑稽色彩的卜尼法斯八世告终，这是罗马教会在民族力量冲击下盛极而衰的最佳象征。冲击开始于 1282 年的“西西里晚祷”（Sicilian Vespers）事件。当时教皇已经完全击溃霍亨斯陶芬家族力量：其苗裔康拉丁（Conradin）被捕获和斩首（1268），家族所盘踞的西西里为教皇所支持的法国安茹公爵（Duke of Anjou）征服，所谓神圣罗马帝国自此名存实亡。然而，由于不堪忍受安茹高压政策，西西里民众却陡然在 1282 年复活节晚祷时分发难屠杀法国占领军，然后宣告独立，并顽强抵抗教皇和安茹的联盟军队，此后双方冲突演变为旷持二十年之久的战争，最后西西里民众始终没有屈服，双方冲突只能以政治妥协收场，这对于教廷而言，自然是极其难咽的苦果①。

在上述事件还没有完全结束之前，教会碰到更严重，可以说是灾难性的打击。为了争夺地方教会资源，心高气傲的教皇卜尼法斯八世（Boniface VIII，1294—1303）和雄才大略的法王腓力四世（Philip IV, the Fair，1268—1314）发生激烈冲突，结果卜尼法斯一度被俘虏，随即含恨而终。由于巴黎是神学重镇，而且法国幅员辽阔，人口众多，本土教会有丰富资源和人才，所以此时法国人在教廷的势力已经极其庞大。卜尼法斯既倒，教廷随即选出法国人为教皇，他不但与腓力四世修好，更索性于 1309 年将教廷迁往法国南部的亚维尼翁（Avignon），接受法国庇荫，教皇凌驾于普世君主之上的观念，至此彻底破产。教廷至终在 1377 年迁回罗马，然而其后又分裂为两个乃至三个敌对阵营，直至 1417 年方才通过神圣罗马皇帝西吉斯蒙德（Sigismund）所推动的康斯坦斯宗教大会（The Council of Constance，1414—1417）而得以回归罗马和重新统一。这百余年斗争、动乱对教廷的势力、声望所造成的打击自

---

① 此事件来龙去脉以下专著有详细论述和分析：Runciman 1992。

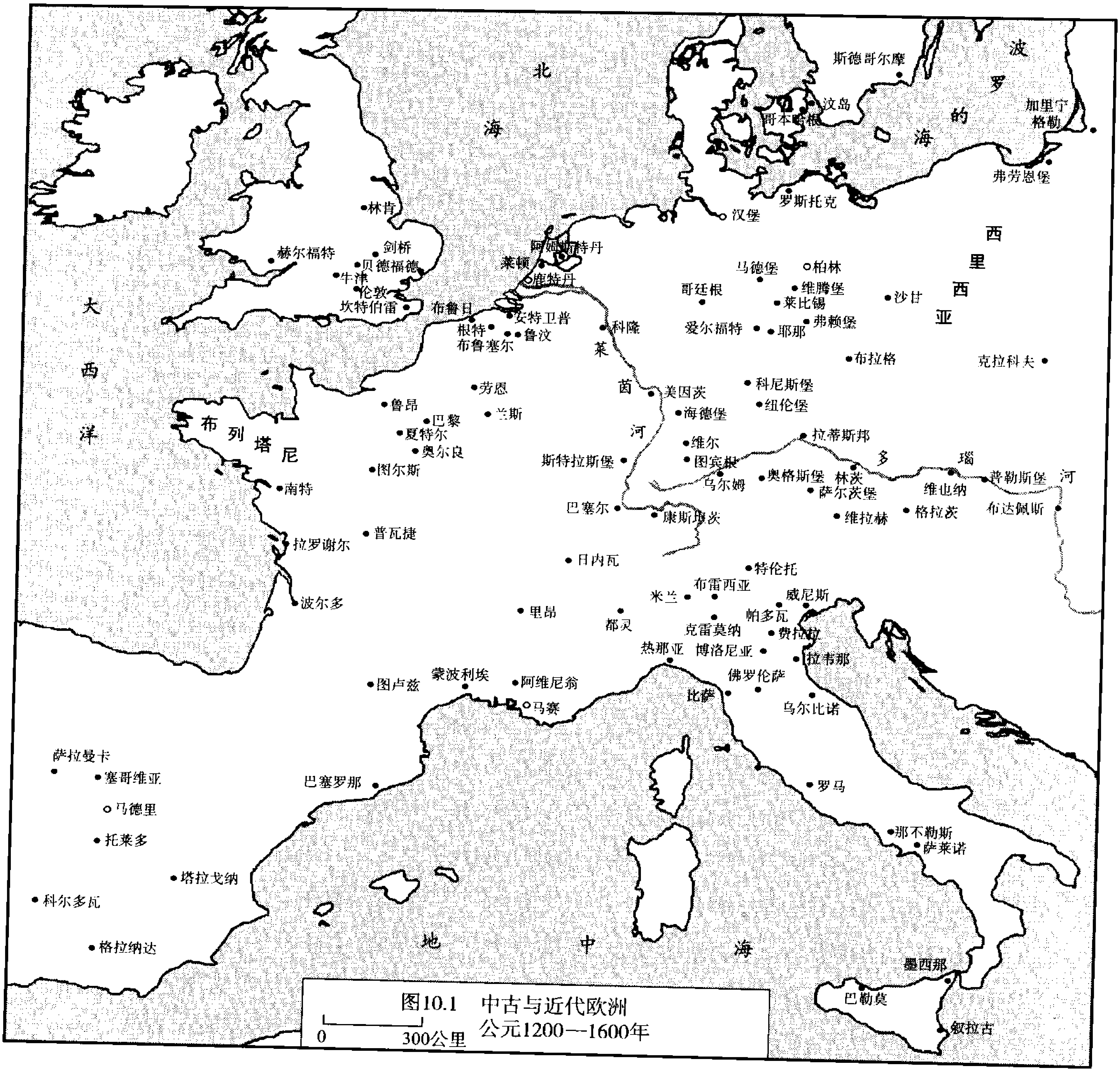


图10.1 中古与近代欧洲
公元1200—1600年

是无可估量，也难以弥补①。

在直接政治碰撞之外，影响更深远的，是具有全民代表性的国会之出现。英王爱德华一世在 1295 年初次邀请民众代表参与最高议事机构“巴力门”（Parliament），腓力四世则在 1302 年为了与卜尼法斯抗争而召开“三等级议会”（Estates General），这两个先例在凝聚民族意识和加强王室力量，也就是抗衡罗马教会普世主义上，都起了巨大作用。最明显的例子是，英国议会在 1351 年和 1353 年就曾经正式立法，禁止教廷干预任何英国教会空缺的委任。

反教廷思潮与运动

除了具体政治冲击，14 世纪也是反教廷思潮与民间运动风起云涌的时期。最早对教廷展开攻击的是意大利政治理论家。亚维尼翁教皇约翰二十二世在 1314 年卷入神圣罗马皇帝选举争端，这导致意大利文学家但丁（Dante Alighieri，1265 - 1321）发表《王政论》（*On Monarchy*，约 1311—1318），帕多瓦哲学教授马西利乌斯（Marsilius of Padua，约 1275—1342）发表《和平保卫者》（*Defensor Pacis*，1324）。他们认为，帝国与教廷各有其自然和正当领域，应该互不干涉，而帝国是保障和平与幸福的最佳体制。但丁更详细列举教皇所引用来为其干预政治辩护的《圣经》章节，然后加以严厉驳斥。他们所认定的正当政治权力来源各不相同：但丁认为这在上帝，马西利乌斯则提出，无论教会抑或国家的至终权力都在全民，就教会而言，这权力只能够由宗教大会行使，而且教义的至终根据也只能够是《圣经》。这两本论著影响极大，实际上已经为马丁路德革命铺平道路了。

英国对罗马教会的冲击却来自完全意想不到的方向，即神学家与王室近臣布拉沃丁（Bradwardine）：他的巨著《神因论》（*De causa dei*，1344）强调上帝时时刻刻的作用，认为救赎来自上主恩慈（grace）而非个人善

---

① 以下有关教会历史与胡斯、威克利夫的讨论，分别见 Walker 1959，pp. 257 - 279，267 - 274；有关后期经院哲学与反教廷思潮，见 Colish 1998，Ch. 23 - 26。

行（merit），因此持“前定说”（predestination）而否定“自由意志论”（free will）——亦即着重个人与上帝的直接关系，而贬抑教会功能，这就带有强烈新教色彩了。比布拉沃丁有名得多但颇受他影响的是牛津大学另一位杰出的神学家和教授威克里夫（John Wycliff，1328－1384）。他从教会的腐败，即其贪财、自私、欺压民众等实际角度，展开对教廷和地方教会的猛烈攻击。他所领导的改革运动以牛津大学为大本营，它从14世纪70年代中期开始，后来演变成为农民革命即所谓罗拉德运动（Lollard Movement），前后历时二十余年（1376—1399）方才止息。这成为中古第一个有组织、有理想、声势浩大的反体制民间运动。

威克里夫跟着影响到布拉格大学神学家，后来成为校长的胡斯（Jan Huss，1373—1415）。他所领导并以身殉道的胡斯派运动（Hussitism，1402—1436）发展迅速，实际上演变为整个波希米亚（Bohemia）的宗教和政治独立运动。在大部分市民和贵族支持下，它坚决抗拒了所有将之扑灭的企图，从而建立独立于罗马教廷以外的教会。这教会竟然延续了足足二百多年，直至17世纪才在牵涉整个欧洲的30年战争中覆灭。威克利夫和胡斯的反抗运动或曰革命都带有浓厚民族情绪，所以是与罗马“普世主义”直接对立的。他们也都是敏锐的神学家，但在指控、抨击罗马教廷的分析和理据上还未成熟，远远不及马丁路德之犀利、深刻。所以他们是民族宗教领袖，而还不是普世性的宗教革命家。

二、科学与神学的冲突

罗马教会当初之所以能够建立那么坚强的信心与力量有三方面原因：它的基本信仰具有强烈的感染力；在组织上，它融合了罗马行政体制与法律精神；在教义上，它吸收了大量的希腊哲学观念与方法。换而言之，它是融合了希伯来、罗马、希腊三种文明的产物。上一章所讨论的中古法学以及经院哲学之兴起，正就反映这融合过程。在下面我们先要谈到经院哲学中所谓“唯实”与“唯名”之争——那其实是希腊哲学观念分歧反映到基督教神学而产生的认识论问题，然后才能进一步讨论科学与神学在中

古所发生的冲突。

“唯实”与“唯名”之争

经院哲学最根本的问题，是“唯实论”（realism）和“唯名论”（nominalism）之争：前者认为普遍概念实际存在，甚至先于个别事物而存在；后者则只承认个别、具体事物的存在，而以普遍概念为具有共同性质的具体事物之名称而已。“唯实论”的根源可以追溯到柏拉图的“理念”说，即他认为不变和完美理念“先于”具体事物存在，正如几何观念先于实际几何形体存在，而将变动不居的现实世界视为虚幻。亚里士多德提出“四因说”，认为普遍概念只能够存在于具体事物，亦即两者必须互相依存，这变为有限度的唯实论。至于斯多葛派类似于原子论的宇宙观念，则可以说是唯名论的嚆矢。在中古，随着神学观念的深化，逻辑被广泛应用，由是产生了“唯实”与“唯名”之争。这争论日趋激烈，以迄15世纪，它可以说是与经院哲学兴衰相始终。在这争论中，“唯实”派大体代表教会正统观念，“唯名”派则隐然反映年轻学者倚仗逻辑利剑向传统观念的不断进攻，至终突显哲学与宗教之间的深层矛盾，从而摧毁经院哲学根基。

这争论起源于贝伦加尔（§9.2）质疑“变质论”（transubstantiation），即认为“圣餐礼”中的酒和面包不可能如传统观念所相信的那样，在牧师祝圣瞬间实际转变为耶稣血肉，他这观点在1050—1079年间三次受到教会正式谴责，因而被迫撤回。其后不久洛色林（Roscelin）在“唯名论”影响下又质疑“三位一体”（Trinity）说，认为在逻辑上圣父（即上帝）、圣子（即耶稣）和圣灵只能够是相同的神，或者三位不同的神，这又受到圣安瑟姆攻击，因此在宗教大会中被正式谴责而撤回。圣安瑟姆曾经师从拉法朗（其师承因而可以追溯到热尔贝），晚年更继承其师成为坎特伯雷大主教。他最著名的工作是运用逻辑与辩证法提出“上帝必然存在”的证明，故此被公认为经院哲学之父。他是最坚决的唯实论者，在洛色林被谴责之后更进一步宣称“唯名论”为异端。

然而，“唯名论”并没有就此偃旗息鼓。阿伯拉就曾经对“唯实论”

坚决捍卫者香普威廉的“人性论”多次提出挑战（§9.7）。他指出，倘若“人性”是人的共同“要素”，那么它就对人人都相同而没有分别，这会导致“人皆相同”的可笑矛盾，威廉最终即因此笑话被迫离开圣母院学堂。然而，阿伯拉自己不能够无所建树。不幸他和业师洛色林一样，也选择了最危险的题目，即试图为“三位一体”观念提出更清晰的新看法。但此观念已经是对立观点激烈冲突下的妥协结果，它根本就充满矛盾，因此任何明确的新说法都不免偏离传统教条，从而成为被攻击藉口，守旧派就是以此而令他在宗教大会中受公开谴责和屈辱。彼得隆巴德在思想和方法上深受阿伯拉影响，但他没有后者的锋芒和傲气，他的《摘要》隐藏思想于编纂前人见解，近乎“述而不作”，因此能够风行一时，成为经院哲学通用教材。

到了13世纪，邓斯司各脱（John Duns Scotus，1265—1308）仍然算是唯实论者，但他强调个人与神的直接关系，并且认为哲学不一定能够导致神学——这样，以融合两者为目标的经院哲学开始出现裂痕。但给予它致命一击的，则是逻辑学家和极端的“唯名论”者，思想锋锐有如剃刀的奥卡姆（William of Occam，1285—1349）。他的基本观点是哲学根本不可能证明任何神学义理，例如上帝之存在：后者必须单纯通过信仰，亦即接受教会权威而获得；然而，以教皇为首的教会在实际上却会犯错误，因此只有《圣经》具有无上权威。这观点在他身后影响力非常之大，它不但抵消了阿奎那的工作，而且显然是一直通往马丁路德那里去的。

亚里士多德的巨大冲击

十二三世纪之间是欧洲学术发展的关键时刻：翻译运动达到高潮，经院哲学方兴未艾，大学正在出现。正就在此时，立论严谨，形成庞大完整体系的亚里士多德哲学著作以及阿威罗伊的相关评述陆续被翻译成拉丁文，因此其思想浪潮很快就泛滥大学，成为教授和学生的关注焦点，并且对混合奥古斯丁神学、新柏拉图主义和亚里士多德“旧逻辑”的早期经院哲学产生强烈冲击。面对此巨大挑战，教会不能不作出反应，因此巴黎主教和教皇分别在1210年、1215年、1231年和1245年四度颁发轻重程

度不同的诏令，禁止在大学文科课程中讲授亚里士多德形而上学和自然哲学，但并没有阻止教授的研究工作。由于禁令最初仅限于巴黎大学，后来才扩展到图卢兹，但始终未曾波及牛津大学，因此在这半个世纪间（1200—1250），局促一隅的牛津反而比巴黎更为开放、先进。不过，即使是这谨慎的政策也不成功——数十年间四颁禁令就是最好证明。事实上，在 13 世纪 40 年代，牛津的罗杰培根就已经被邀请到巴黎去讲授亚里士多德哲学，到 50 年代这些禁令已经等同具文，而巴黎大学文学院更在 1255 年颁布规定，要求学生研习所有亚里士多德已知著作（《政治学》除外），也就是把他的全集正式列入课程了①。

另一方面，以学术文化为己任的多米尼加修士则明智和进取得多。曾经在那不勒斯、巴黎和科隆就学，以及在巴黎、教廷和本笃派学校担任神学教授的阿奎那（Thomas Aquinas，1224—1274）是众所公认奥古斯丁之后最伟大的神学家，也是不折不扣的亚里士多德专家和最热心宣扬者。他遍读亚氏著作，为每一种作评注（实证科学类的动植物学等自属例外），而划时代贡献则是在其传世巨著《神学要义》（*Summa Theologiae*）中将基督教教义与亚里士多德哲学系统作全面和彻底的融合。这自然不能够消除或者抹杀两者之间的某些基本矛盾，例如宇宙是否有起点和终结，灵魂是否可以脱离躯体存在等问题，然而，亚氏哲学的理性结构为他的神学所吸收和消化，则是不争事实。在他的请求下，隶属同一修会，后来出任科林多（Corinth）主教的荷兰人摩尔巴克（William of Moerbeke，约 1215—1286）更以宏大魄力将全部亚氏著作（《前后分析篇》除外）连同许多重要评论从希腊文重新翻译成拉丁文，以消除当时多种通用译本是从阿拉伯文或者叙利亚文转译所产生的弊病②；除此之外，摩尔巴克还翻译了阿基米德的大部分作品以及相关评论。

---

① 亚里士多德哲学体系与中古教会、大学以及众多学者的关系是复杂问题，格兰特对此问题特别注重，甚至视之为中古科学兴起与发展的关键，这可以说是 Grant 1996 一书的中心论题，书中 4 - 7 章讨论亚里士多德的冲击与影响尤为深入详细。

② 见 Thorndike 1923 - 1958，ii，pp. 394 - 395；但对摩尔巴克提出建议的，也可能是阿奎那的老师大阿尔伯图，见 Colish 1998，p. 295。

1277 年宗教大会

不过，神学家对于气势高涨的文科教授之不满和敌意并未因此消弭，保守教会领袖对澎湃新思潮的忧虑与愤怒亦与日俱增，这最后演变为公开冲突，那就是巴黎主教谭皮尔（Stephen Tempier）应教宗要求，在 1277 年召开巴黎地区宗教大会，在会上正式对离经叛道的众多“论题”加以谴责。这 219 条论题显然是在匆忙情况下列举的，所以不但纷乱而且流于枝节可笑。它们包括：对神学的鄙视，例如“神学讨论是建立在寓言、神话上”，“神学并不令人增加知识”，“世上智者唯有哲学家”（第 152—154 条）；对哲学的崇扬，例如“献身哲学是无上崇高的状态”、“凡可用理性辩解之事哲学家都应该辩解”、“对于任何问题人不应当满足于根据权威所得肯定（答案）”（第 40、145、150 条），等等，以及有关魔法、召鬼等的禁忌。但也包含了反映科学与宗教深层冲突的论题，这其中最重要的可以分为三大类。首先，有 27 条之多（例如第 9、98、107 条）是宣称世界或者物质基本元素是永恒，因而抵触《创世记》观念的；其次，是所谓“双重真理”说（第 90 条），即哲学与宗教可能各有不同的真理，虽然两者有冲突时以宗教为准；最后，则是源自亚里士多德或者阿威罗伊学说而对上帝能力构成直接或者间接限制者（第 21、34、35、48、49、139—141 条），例如世上事物必然遵循严格因果关系、上帝在太初不能够创造多个世界、上帝不能够令整个世界作平移运动（translation，因为这会产生真空），以及相当于认为上帝不能够施行神迹，或者经过祝圣的酒饼不可能变质，等等①。这些论题清楚地突显了双方冲突的根源：自然哲学所根据的是理性（reason），基督教所宗奉的是神示（revelation），前者来自亚里士多德著作，后者来自《圣经》，而这两者在许多见解上是直接冲突的。

谭皮尔的谴责是中古学术史上的大事，但它到底发生了什么影响呢？谴责的一个连带规定是，它禁止文科教授讨论任何与神学有关的问题，也

---

① 有关该 219 条受谴责论题的背景、分析与讨论，见 Grant 1996，pp. 70－83。

就是在自然哲学与神学之间画了一道清楚的界线，从而使后者不再受前者冲击，但这也就是说，只要文科教授不碰触这界线——例如，避开犯忌论题或者用引述方式讨论它，那么他们的自然哲学探索还是不受干涉的。至于神学教授则可以自由讨论一切问题，但事实上他们也并不反对或者敌视自然哲学，理由很简单：神学同样是建筑在亚里士多德哲学基础上，只不过若干有关宇宙、灵魂的特殊问题需要以另外方式处理而已。所以，谴责“保护”了神学，但并没有对自然哲学构成严重打击。

对于科学的长远发展来说，这事件的后果则颇有争论。开欧洲中古科学史研究先河的迪昂（Pierre Duhem）认为：谴责打击了亚里士多德的权威，由是将科学家心灵从其《物理学》桎梏（例如天体不可能有直线运动，真空不可能存在，等等）解放出来，此后有关托勒密系统的各种改进和推测遂得自由进行，由是为日后的哥白尼革命创造了条件。因此，他宣称，1277 年的大会方才是近代科学兴起的转折点①。这吊诡的观点等于间接否定了 17 世纪科学革命的观念，所以并不能够为大多数科学史家接受，而且，即使是中古科学专家也都承认，此事虽然为中古科学家开辟了驰骋想象力的空间，但它并没有动摇亚里士多德权威和思想模式，因此难以说构成日后科学革命的原因②。的确，迪昂的观点恐怕很难入信，因为哥白尼与此事件相隔达两个半世纪之遥，而且直接触发其革命性理论的，当更是柏拉图热潮以及马拉噶天文学派学说（见下章）。不过，也从此可见，革命性变革同时受长期趋势以及近期因素影响，将转变单纯归因于此或彼，恐怕都是很难成立的。

三、三位教会科学家

中古科学受亚里士多德影响，以研究“月球下”亦即地上现象为主，

---

① 迪昂不幸因心脏病于 1916 年早逝，当时他的十卷本巨著《世界体系》（*Le Système du monde*）只出到第五卷，后五卷几经周折才于 1954 – 1959 年间完成出版，此书有下列英文节译本：Duhem 1987。有关迪昂对谭皮尔所召开宗教大会影响的论述，见该节译本 Ch. 5。

② 见 Grant 1996，p. 83。

着重观察和实验，但却不排斥数学。这些观念、方法是由格罗斯泰特所开创，由大阿尔伯图和罗杰培根所继承，欧洲科学传统就是由这三位与教会关系密切的学者建立起来，而他们最重要的共同具体表现则在于光学，特别是彩虹研究。

英国科学的渊源

英国自从威廉一世入主以来百年间，由于诺曼人与欧洲大陆以及克吕尼修院的密切联系，在宗教和学术上出现了大量优异人物，例如历任坎特伯雷大主教拉法朗（Lanfranc）、他的弟子安瑟姆、后来殉教的贝克特（Thomas Beckett），以及贝克特的秘书和亲信，以文艺著称的“索尔斯伯里的”约翰（John of Salisbury，约 1115—1180），等等。同时，它还有一个贯穿 12 世纪的早期科学传统，这包括上一章提到的御医彼得阿方斯、修道院院长沃尔克、翻译运动与科学探究先驱阿德拉，及其后的罗伯特、赫尔福德的罗杰、摩尔莱的丹尼尔等，他们都以翻译或者天文测算知名。不过，这个传统其实还是隐伏不彰，因为它既未出现众望所归的领袖人物，更没有产生具有长远影响力的作品。而且，不但在英国，即使在整个欧洲，也都是如此。到了 13 世纪，终于能够从风靡一时的经院哲学中挺拔而起，全面转向自然哲学探究，并且以大量著作建立新科学传统的，是中年以后才成名的格罗斯泰特。他对欧洲中古科学的拓垦与开风气之功，大概可与泰勒斯之于古希腊自然哲学相比。

从贫困学者到主教

格罗斯泰特（Robert Grosseteste，1168—1253）生于英国东部萨福克郡（Suffolk County）的贫苦家庭，早年事迹无考，但知道他有幸在赫尔福德郡的维尔主教（Bishop de Vere）府邸成长，并且在该城座堂学校受教育，娴习医学和法律，在弱冠之年完成学业，获得文科“教授”（Magister）资格。他的少年正当该郡天文和数学家罗杰的活跃时期（1170—1180），显然他是在科学气氛中成长，并且终身受影响。维尔主教在 1198 年逝世，当时他已经年届而立，可能就是在此时离开主教府，前往当时处于草创阶

段的牛津大学任教和研习神学①。牛津大学于1209年因为与国王约翰冲突而停止授课，并且集体迁往巴黎。在此期间，他当是随同大众行动，在巴黎度过1209—1214这五年光阴。其实他去巴黎纯粹出于推测：倘若他违反大学公议滞留牛津继续任教，那么复校之后必然会遭到除名的惩处，不可能为同僚接受出任校长；而且，从后来的书信和交往看，他和当时在巴黎的许多著名学者稔熟，似乎颇有交谊渊源。牛津于1214年复校，1215年得教廷特使颁布法规，承认为具有特权的大学，此时已接近知命之年的格罗斯泰特初露头角，被任命为“校长”②。

此后20年间（1215—1235，即他47—67岁这段时光）是他学术成熟的时期，他大量有关科学、哲学与宗教的著作都是此时写成，然而成书时间和次序并不清楚，只能够大体推断科学和哲学著作较早，宗教著作较晚。此期间他先后出任林肯座堂的助祭（deacon，1225）、主助祭（archdeacon，1229）、圣方济各修院神学教授（1229）等教职，但仍然留驻牛津；最后在1235年以67岁高龄当选林肯郡主教，这才离开牛津，出任全英国最大教区领袖。他之当选颇出乎意料，大概是对立派系的妥协结果。更令人意想不到的，则是他并非过渡性人物，而坐镇林肯郡将近二十年之久，充分利用权位整饬教区行政，培养牛津大学学风，更在古稀之年认真学习希腊文和希伯来文，以求能够直接阅读《圣经》原典，然后孜孜不倦地从事教会以及哲学经典的翻译，开创英国古典研究先河，以迄耄耋高年辞世。

现象与原理并重的新科学观

格罗斯泰特没有家世凭藉，也并非天才，他能够攀升高位，是毕生勤

① 有关格罗斯泰特的事迹和论述有以下专著：McEvoy 1986；至于他与实验科学传统兴起的关系，见以下专门论述：Crombie 1953。此外 Southern 1992 一书对他的出身和学术渊源提出特殊见解，认为他早年并没有巴黎大学学历，而纯粹是英国科学传统的产物，但这种看法并未得到普遍认同。

② 他的正式职衔只是“学长”（master of schools），而并未获得“监督”（chancellor）称号。牛津大学校长之正式获得“监督”称号是1221年。当时大学校长是教授互相推选出来的公职，任期一般不超过一年，但连选大概得连任，而且既无薪水，亦无繁忙的行政事务，所以并不影响教学和研究。格罗斯泰特何时卸任校长不清楚，其后有记载的第一位校长在1231年上任，但在1215－1231年期间当还有别的、未经明确记载的校长。

谨加上晚年运气所致，在学术上得领风骚数百年，则是因缘际会，加上孜孜矻矻，困勉以赴的结果。换而言之，他的禀赋、天分固然不薄，但勤奋、执著、好学深思的精神更为重要。他能够沉潜默守当时犹为边陲的牛津，而未尝吐气扬名于人文荟萃的巴黎，也是这种性格的反映。

他所提出的基本观念是：自然界真理只能够从众多个别实际现象的观察获得，但要借此归纳出普遍真理再反过来推断个别现象，则必须依赖数学方始为功。这是个具体现象和抽象原理并重的架构：它对于具体现象的尊重接近于亚里士多德，而截然有别于自柏拉图、欧几里德、阿基米德以至托勒密那种以几何学原理来了解宇宙的思想传统；但它所给予数学的基本地位，却又接近柏拉图精神，而迥异于亚里士多德的目的论框架。因此他是融合了亚里士多德与柏拉图两种相反精神，提出理论与实验并重，以及两者往返互动的方法，这就已经非常接近 17 世纪的现代科学观念了①。

但他的科学观并非得之于颖悟，而是从长期探索逐步发展出来的：他初期作品（1215—1225）以天文计算、理论与天象为主；其后十年（1222—1232）致力于光的哲学，以及诸如彗星、潮汐、彩虹、颜色、热等“月球下”现象研究；在上述阶段末期（1228—1232）则撰写亚里士多德《后分析学》评述以及《物理学》评注，上述科学观就是在这些评注中发挥的。所以，在 1222—1225 年这关键期间，他逐步脱离古希腊与亚历山大天文学传统，转向地面自然现象之探索，这最终导致了他新科学观的形成②。

光学传统之承先启后

格罗斯泰特虽然强调数学的重要性，但并不以数学见长，更说不上有

---

① 克伦比的《格罗斯泰特与实验科学之起源 1100 - 1700》对于他这思想的发展背景、经历与内涵有详细讨论，见 Crombie 1953，Ch. 2 - 4。

② 此处讨论是根据 McEvoy 1986，pp. 503 - 519 的“附录 B：自然（哲学）著作年表”。但格罗斯泰特大量科学著作的先后次序和年份是复杂而难以明确解决的问题，主要因为他留下的手稿很少提供年份上的内证。我们更必须承认，对于《后分析学述评》写成年份 Crombie 1953 与 McEvoy 1986 有基本分歧，而这对以下的观点会有直接影响。详见 McEvoy 1986，pp. 511 - 514。

特殊贡献，因此天文学工作也不出色，所撰写的天文学教材《论球面》未见风行。他所找到真正属于自己的领域是光的研究，这在西方科学大传统中其实也是一个源远流长的主要领域：柏拉图在其《蒂迈欧篇》就已经讨论了视觉机制以及镜子成像的道理。亚里士多德也在《论感觉及感觉对象》中检讨了前代哲学家对于视觉机制的见解，然后提出自己的看法，又在《天象学》中讨论彩虹成因。但以专书探究光学则从欧几里德开始，其后阿基米德和赫伦也都著有《反射光学》（虽然前者的失传了），托勒密的五卷本《光学》则集古代研究之大成。其后这些著作传入伊斯兰世界，在10—11世纪间激发海桑作进一步研究，写成七卷本的《光学汇编》，他特别对于人的视觉机制以及光的传播方式有突破性发现，这在以上第五至第八各章已经分别谈到过了。

因此，在13世纪之初，格罗斯泰特所秉承的是个非常长远和丰富的光学传统。他在这方面的工作有两个不同的方向。第一方向是形而上学的，即《论光》（*De Luce*）一文所阐发的光和宇宙创生之关系。这观念的根源可以追溯到光在《创世记》上帝开辟天地故事以及《约翰福音》开头“论道”一大段的关键作用，但更直接和广泛的影响则来自奥古斯丁所发挥的新柏拉图哲学，即光将上帝心中的永恒“理念”辐射出来，从而塑造混沌未开的物质，使之成为井然有序的世界①。第二个方向是具体和观测性的，即彩虹研究。这特别能够体现他的新科学观，因为它涉及可以反复仔细观察，甚至以实验来证实的现象，而光的反射、折射又都可以用精确（虽然并不高深）的数学处理，因此它是个与传统数理天文学截然不同的“模型科学”（model science）②。格罗斯泰特承先启后，引导数代科学家投入此领域，最后获得非常杰出的成果，这在下一节还要详细

① 从20世纪初开始，学者即已经对格罗斯泰特这方面思想做过深入研究，见McEvoy 1986，pp. 149－150。当时格罗斯泰特自然绝对无法想象，他以光来究诘上帝开天辟地之功，在800年后的今日看来，的确有不可思议的巧合与“先见之明”。因为当代科学根据“大爆炸”（Big Bang）理论所获知的宇宙创生之初，光子对于原始混沌物质之膨胀和星云、恒星等结构之形成，的确起了关键作用；而且，我们如今还能够推断当时情况，主要就是依赖观测“宇宙微波背景”，那就是当时高能光子遗留至今所形成。

② Crombie 1953，pp. 91－116.

讨论。

格罗斯泰特在牛津大学任教长达二十余年，升任主教之后对于大学仍然保持监督、指导之权，以是他的科学向往和实验哲学对牛津学风有广泛和深入影响。受影响最深，个人关系也最密切的，无疑是他的学生、挚友、终生追随者，也是继承他在方济各学院讲席的亚当马什（Adam Marsh，约1200—1259），以及和马什大致同时的其他方济各讲师①。但就学术地位而言，则深受他思想影响而名声最高者，无疑是大阿尔伯图和他的私淑弟子罗杰培根，他们可以被视为他的下一代传人。

一帆风顺的德国主教

阿尔伯图与罗杰培根同时，两人在际遇上有天渊之别，但终生追求的目标却相同，就是将基督教和当时正迅速传入欧洲并且震撼学界的科学融为一体，所不同者是他们的科学取向有别：大阿尔伯图偏向亚里士多德，性近博物学而比较忽略数学；罗杰培根偏向伊斯兰科学整体，而且强调数学的重要性。不过，他们深受格罗斯泰特影响则相同。这在出身牛津、师从亚当马什、公开表示仰慕格罗斯泰特的罗杰培根显而易见；至于大阿尔伯图则较难察觉，但他同样注重实证与观察，而脱离了几何中心主义和理念至上的思想。他们的贡献也不在于具体发现，而在于新方法、新观念的论述、倡导及推动②。

阿尔伯图（Albertus，约1200—1280）原籍德国，出身巴伐利亚富有世家，在巴度亚大学攻读文科，1223年左右加入新创办的多米尼加修会，自此一帆风顺，声名鹊起，先后被派往科隆（Cologne）、希尔德斯海姆（Hildesheim）、弗赖堡（Freiburg）、拉提斯邦（Ratisbon）、斯特拉斯堡（Strasburg）等多个德国分会讲学和工作，1241年被派往开设于巴黎大学以内的圣雅各修会教授神学，藉此得以参与当时刚刚在巴黎兴起的亚里士多德与伊斯兰科学研讨热潮。但其实他要到1245年方才获巴黎大学正式

① 有关马什与格罗斯泰特的关系，以及他的家族对后者的支持，见 McEvoy 1986，pp. 38－43。
② 这方面克伦比有详细论证，见 Crombie 1953，pp. 139－150，189－196。

颁发神学教授执照，从而获得在大学正式开讲的资格，后来成为中古最著名神学家的阿奎那就是在此期间成为他的学生。1248 年他被派往科隆开设德国第一所座堂学校，不过，此校虽然有名，却还够不上正式大学资格，要经过一个世纪的发展才能达到大学水平。在此阶段他的学术臻于成熟，教会也日益倚重：1254—1257 年出任修会的德国分会监督（superior），1260—1262 年出任拉提斯邦主教，但他志在学术，所以不久便辞职重返科隆任教。在 1274 年他仍然参加里昂大会（Council of Lyons），1277 年谭皮尔谴责风波之后更以耄耋高龄重返巴黎，为爱徒阿奎那辩护，从而打消酝酿中的进一步谴责阿奎那之企图，对教会和学术都可谓鞠躬尽瘁。他身后被尊为大阿尔伯图（Albertus Magnus），也可谓学者的罕见殊荣了①。

消弭宗教与科学的紧张

大阿尔伯图可能是中古最多产的学者，作品估计达 470 种之多，大部分是宣教讲章和神学作品，但哲学与科学著作也不下数十种，其性质大部分是亚里士多德著作的阐述、评论与发挥，也就是要将其自然哲学加以修订、扩充，然后全面和完整地介绍给欧洲，特别是多米尼加修士。这宏大的工作大约开始于 1250 年，延续将近二十年之久，它和仅仅两代之前阿威罗伊所做的如出一辙，其目标无疑正是受其影响，但也不尽相同。这是因为大阿尔伯图具有敏锐思想和观察力，会不惮繁琐地作实地调查、研究，往往能够纠正前人错误。所以，他的《动物学》（*De animalibus*）、《植物志》（*De vegetabilibus*）和《矿物学》（*De Mineralibus*）等在中世纪乃至近代有极高声誉，被认为是博物学乃至植物分类学、冶矿学前驱，他本人亦被推为 16 世纪以前最伟大的植物学家。当然，从今日看来，他有些发现（例如，和传说相反，驼鸟实际上并不嗜吃铁屑，或者蜘蛛并不能抵御火烧之类）是很肤浅的，但其整体则突显了难能可贵的实事求是精神。

---

① 大阿尔伯图的传略和学说介绍，见 Thorndike 1923 - 1958，ii，pp. 517 - 592；他在科学上的重要贡献和地位，下列论文有简明而系统、全面的评述：“Introduction：The Life and Works of Albert the Great”，in Albertus Magnus/Kitchell & Resnick 1999，pp. 1 - 42；至于有关大阿尔伯图的学说，以及他的科学思想所受格罗斯泰特的影响，见 Crombie 1953，pp. 189 - 200。

除了亚里士多德评述与具体科学研究（包括下文要谈到的彩虹研究）以外，大阿尔伯图还在科学观念上有极为重要的贡献，那就是提出对科学发展有关键性影响的崭新自然观念①。在他之前，所谓“旧自然观”是在基督教老传统中形成，它认为自然界森罗万象是纷杂、变化莫测，没有清楚、简单、准确规律可追寻，倘若有之，那也只存在于上帝的神圣意志之中，而不可能从现象本身探求。换而言之，现象世界只不过是“上帝的足迹”（*vestigia dei*），它本身是没有意义的，因此对于自然的真正了解只能够通过对神的了解，也就是通过《圣经》和神学。这样，它就根本否定了通过实证观察、研究来发展科学的可能性——事实上是比“侍女说”更进一步，将自然哲学本身（而不仅仅是其作用）亦完全收摄于神学之下。而且，这种观念和柏拉图的宇宙观念不谋而合，甚或可以说是通过奥古斯丁而承受的柏拉图思想之发挥，因为它反映了对永恒、不变理念的崇敬与追求，以及对现实世界纷乱、变动不居的观感现象（sensible *phenomena*）之轻视——后者只不过是真实理念在阴暗洞穴墙壁上的模糊投影罢了。

但在亚里士多德、阿维森纳、阿威罗伊、格罗斯泰特等前辈影响下，大阿尔伯图提出了与上述完全相反的新自然观。他在《后分析学》评述中指出：自然现象是有规律的，虽然我们没有简单和明确方法可以推断或者找到这些规律。其次，上帝虽然有能力做任何事情，包括违反自然规律的神迹，但实际上祂一般并不这样做，而仍然是通过自己所创造的规律来运转世界。因此，通过自然现象的考察来寻求其背后原因是有意义的：这不但有可能发现其规律（虽然这没有必然性或者数学般的确定性），而且更可以彰显上帝所创造世界的精妙。这新观念消解了“神的意志”与自然规律之间的矛盾和紧张，从而为科学和实证研究在基督教观念中建立合法性与合理性。当然，教会对亚里士多德哲学及其理性观念的抗拒、压制贯穿整个13世纪，1277年的巴黎大会便是这冲突的高潮。然而，由于大阿尔伯图的渊博，他在教会中的崇高声望，更加上他的得意门生阿奎那在

① 有关这方面的详细讨论，特别是格罗斯泰特、罗杰培根、大阿尔伯图三者对于柏拉图和亚里士多德哲学的不同态度，见 Albertus Magnus/Kitchell & Resnick 1999，pp. 22 – 32。

神学上的卓越成就，这冲突在他们之后就转为缓和以至逐渐消弭于无形，亚里士多德也日益为教会所接受了。因此，促成基督教观念的历史性转变以及它与亚氏哲学的融合无间，可以说是他们师徒二人扭转乾坤之功。到了 16 世纪，由于大阿尔伯图和帕多瓦大学曾经有密切关系，他这融合科学与宗教的新观念进一步影响了意大利文艺复兴学者，特别是曾经在帕多瓦工作的伽利略①，而牛顿和许多其他学者显然也同样受其影响，不过那是后话了。

坎坷终身的英国教士

和大阿尔伯图相比，罗杰培根（Roger Bacon，约 1215—1292）一生坷坎潦倒，终身在奋斗、挣扎和艰难中度过，而且当时默默无闻，其事迹只能够从所遗留著作的片言只语来推测②。罗杰培根出身英国世家，1210—1220 年间诞生，早年在牛津受教育，取得文科教授资格并且颇有名声，因此于 13 世纪 40 年代初期受邀赴巴黎大学讲授新近出现的大量亚里士多德著作。如上文所提到，此时巴黎对亚里士多德学说仍然未曾正式开禁，但牛津却从来未有禁令，所以如罗杰培根那样的青年才俊被邀讲学是很自然的。然而他在巴黎并不得意，这可能与他专注哲学而尚未曾取得神学教授资格（那一般需要十余年苦功）有关，更可能是同时的大阿尔伯图得到修会大力支持，所以在声誉上盖过了他。无论如何，他在 1247 年左右回到牛津，师从亚当马什和接受牛津实验哲学传统，全面转向自然科学的学习与研究。此时格罗斯泰特年事已高，而且远在莱斯特（Leicester）担任主教，他虽然心仪，但未必有机会晋见。1257 年左右，他加入方济各修院，这可能是因为此修院在牛津有极高学术声誉，更可能因为他已经花费巨款于科学研究而致经济拮据，被迫托庇修院以求能够专心著述。事实上

① 这是伽利略自己所特别提到的，见 Albertus Magnus/Kitchell & Resnick 1999，pp. 31 – 32。

② 罗杰培根的标准传记是 Easton 1952；此外 Thorndike 1923，ii，pp. 616 – 691 对他的生平和工作有相当生动的论述，包括对他后世名声戏剧性变化的讨论；有关他学术的综述和评论，见下列论文集：Hackett 1997；他的三部重要光学著作有下列两种英译本：Lindberg 1983 与 Lindberg 1996，以上著作的导言对他的事迹和学术也有讨论和阐述。

他的大量专门著作，大概就是在1255—1265年这10年期间完成的。

不过，他孤耿高傲，所以和修会关系恶劣，更且卷入当时流行的约阿希姆派（Joachimitic）末日论思想，那颇有可能影响修会声誉乃至其地位，因此后来被勒令赴巴黎以便管束，保守的修会会长博纳文图拉（Bonaventura，1217—1274）更在1260年颁令，严禁会中修士发表未经批准的著作，使他饱受打击，愤懑不堪。但1265年迎来了大转机：与他有旧交的枢机主教在该年登基成为教皇克里门四世（Clement IV，1265—1268），并即传信邀请他尽速呈上著作。这促成他在1267—1268年间将历年累积的科学知识与宗教思想融铸为《主集》（*Opus Majus*）① 与《别集》（*Opus Minus*）等两部综合性作品呈献，不幸的是克里门旋即去世，而未及寓目他的大作。至于他的《三集》（*Opus Tertium*）亦是此时期所作，但始终未曾完成。此后罗杰继续勤奋著作不辍，但个人境况并无起色，后来可能还由于其倔强性格，不羁言论，或者热切末日论信仰而受监禁，以迄1292年郁郁以终。

相对于大阿尔伯图的稳重、沉实，备受爱戴，罗杰培根是冲动、急躁、孤僻天才。他事业失败的根源是鄙视彼得隆巴德的《摘要》及其风靡一时的神学论证方式，因此没有取得神学博士，从而失去在体制中擢升的机会。其实，格罗斯泰特属“老派”神学家，他同样抗拒《摘要》所带来的新风尚，但性格坚毅，运气不坏，所以得享顺遂晚景。不过，命运毕竟还是很公平：罗杰的作品没有被埋没，他身后名声也一直响亮——虽然在17世纪之前是和魔术、炼金术连在一起，到19世纪则被夸大为科学殉道者，愚昧世纪中的理性先知，等等，这样一直要到20世纪学者才能够对他作出更为全面和适当的评价。

以“昌教”为目标

罗杰培根对于科学的贡献可以以桑达克对他主要作品《主集》的看

---

① 此书有下列已绝版的英译本：Roger Bacon/Burke 1928，但另有 Kessinger Publishing 2006年重印本。

法来概括："它的观念并不崭新，也说不上远远超越时代，但其成分非常庞杂，所以个别内容虽然散见于别处，这样集中起来却是罕见……即使我们尊他为现代科学先驱，也不容否认这是教士为教士而写的书，目的在于增进教会和基督教的昌盛。其次，虽然他往往是学究气（scholastic）和形而上的，却又在多处显示出强烈的批判性，并且坚持实用是判断科学和哲学的标准。最后，他鼓吹所谓'自然魔术与实验学派'的目标与方法，这就很接近科学精神了。"① 这里所说有四个要点：该书性质庞杂；其目标在于"昌教"；它同时具有学究气和科学精神，以及它强调以实用为标准。这其实都是很重要而密切相关的。

指出《主集》具有批判和实证精神，但未曾脱离魔术、经院哲学和形而上学，就是说其思想混乱驳杂，那在 13 世纪科学萌芽之际自然不足怪——这种状况甚至到 16—17 世纪都还未曾完全消失。而且，这庞杂更是因为它尝试综合当时所有学问②。不过，罗杰培根自己也意识到，以他个人力量，这梦想不可能成功，所以此巨著只是个大纲，目标在于打动教皇，以获得资源去建立科学家团队，从而完成此大业，可惜克里门与此书无缘。他这梦想背后还有更远大的理想，那就是"昌教"。这有两层意思：最切实的，是以伊斯兰教徒所擅长的科技来对付他们的入侵——我们必须记得，此时（13 世纪中叶）奥图曼帝国刚刚兴起，君士坦丁堡的陷落还在二百年后，而双方力量对比的逆转更须待牛顿时代，即整整四百年后的遥远未来；至于更高远的意义，则是通过了解和阐明宇宙秩序、设计来显明神之大能。从今日看来，以科学昌教的后一层意义可谓完全落空，甚至适得其反，但前一层意义却奇迹似地完全实现了，这无论就 17 世纪末奥图曼军队之被彻底击溃，或者从今日国际形势来看，都是无可置疑的。

---

① Thorndike 1923 – 1958，ii，p. 678.

② 此书共分长短不等的七部分，分别讨论：产生谬误的原因（迷信权威、习俗、偏见、自以为是，等等）；哲学的地位与重要性；研习其他言语的重要性；数理科学；光学；实验科学（包括理论、彩虹研究、星盘应用、医学）；伦理哲学。其中数理科学、伦理哲学、光学大约分别占 300、200、160 页。见 Bacon/Burke 2006 的目录。

其实，“昌教”的目标和坚持科学要以实用价值来衡量是同一原则的两面，但就西方科学的立足点而言，这新价值标准是个巨大和根本的转变。它反映了在基督教冲击和宰制下，希腊重智精神已经退隐，科学背后动力（或者主要动力）已经从探索宇宙奥秘转变为驾驭自然力量，诸如制造望远镜或者“燃烧镜”之类。这转变见之于《主集》所提出的所谓“普世科学”（universal science）的五个不同层次：最低层是个别学科，如天文学、炼金学、农学，等等；上一层是个别学科的证验；第三层是它们的整体综合；第四层是它们的实际应用与未来应用之研究、规划、推广，亦即科技的整体发展；最高的第五层则是“道德哲学”，亦即根据宗教和哲学原理来规范、指导科技应用①。我们可能觉得这庞大体系浮夸不实，但只要稍为反思就不得不承认，它的确包含惊人远见——事实上，它和现代科技社会的结构是惊人地相似，虽然处于顶层的已经不再是宗教了。

总体来说，格罗斯泰特是中古科学的玄默奠基者，大阿尔伯图是它与基督教文化的融会者，至于罗杰培根则是它的天才梦想家和宣扬者。正由于这三位气质、取向、成就迥异，但又互为补足的大学者的开拓、斡旋、潜移默化之功，科学逐渐为教会所接纳，在社会上赢得尊敬与一定地位，它其后数百年的发展也因此获得了稳固根基。

四、实验精神：光学与磁学

上述三位科学家的主要贡献在于科学理念的阐述、倡导和发扬。除此之外，他们有什么具体发现，是直接推动欧洲科学实际进步的呢？这的确不多。不过，如上面一再指出，有一个领域是他们三位所直接探讨，而且获得了具体、稳定进步，至终导致重要成果的，那就是光学，特别是有关彩虹成因的研究。

---

① 见伊斯顿以下论述：Easton 1952，pp. 167 - 185。

彩虹研究的开端

彩虹研究在西方科学史上源远流长，它以亚里士多德在《天象学》的论述为开端①。这除了对于彩虹形状、出现环境等的具体描述以外，基本上有三方面：首先，他认为彩虹是由于云气中的微细水滴反射阳光所形成；其次，他猜测白色阳光经过反射会出现彩虹中不同颜色的光环，是因为反射“弱化”了白光，使之成为黑与白的混合，混合比例不同就产生不同颜色；最后，他指出彩虹光环总是一个圆圈的小半部分，而太阳、观察者眼睛，以及彩环中心总是成直线，因此太阳越高，彩虹在地平线以上部分就越小②。在他之后塞内加和博斯多尼乌也都讨论过彩虹，前者跟随他的见解，后者则提出，它是由形状犹如凹镜的整块云层反射形成。

格罗斯泰特的《论彩虹》(*De Iride*) 是中古彩虹研究的开端，它分为三部分：第一部分讨论视觉问题，第二和第三部分分别讨论镜子和透镜，即光的反射和折射，并且应用数学来处理这些现象的规律——虽然他拟想的折射定律并不正确③。第三部分讨论彩虹的形成，并且提出与亚里士多德完全不相同的见解：他认为彩虹并非由于许多微细水滴，而是由大块云层整体作用形成；而且，它不仅仅是由于反射，也牵涉折射。也就是说，他认为阳光先是为密度有变化，其作用犹如透镜的大块云层所折射，由此形成的影像被投射到后面另外一块云层上去；我们所见到的彩虹，是后面第二云层的反射影像。他受博斯多尼乌影响而撇开大气中的小水滴自然是错误的，但他们两位都已经引进“成像”观念，而他引进折射作用更是个大进步。

---

① 波耶的《彩虹：从神话到数学》是彩虹研究的详尽历史，从亚里士多德以至牛顿都有论述；此书同时也是一部详细的光学史，内含许多珍贵图片，见 Boyer 1987。

② 他原来的说法是：该圆圈是一个正圆锥形的底，太阳是其顶点，眼睛在其中轴线上，见 Aristotle, *Meteorology* III。

③ 以下有关彩虹研究的论述主要取材于克伦比的著作，其中与格罗斯泰特、大阿尔伯图、罗杰培根的相关部分，分别见 Crombie 1953, pp. 116 - 127, 196 - 200, 157 - 162。波耶的相关论述较简短，见 Boyer 1987, pp. 88 - 102。

大阿尔伯图与罗杰培根的研究

大阿尔伯图和罗杰培根不但得到格罗斯泰特的启发，而且有机会见到海桑的作品（见§8.5），所以有更进一步发现。在其《天象学》评述中，大阿尔伯图指出，无论凹或者凸球面镜通过反射所形成的影像和彩虹的形状都不相符，因此云层整体作用之说不能够成立；他又指出，从窗户进入室内的阳光倘若透过（一般为筒状的）水瓶或者人为喷洒的水滴时，就会在后面的墙壁或者白屏幕上显出如彩虹的颜色，也就是说，白光穿过无色透明体可以产生颜色。因此他认为微细水滴很可能是彩虹的成因，并且就其具体机制做了详细讨论，这可以说是在格罗斯泰特之后再返回正轨。但他仍然接受亚里士多德的颜色形成观念，认为这是由不同密度水滴对光产生不同程度吸收所致。

罗杰培根在《主集》中也同样认为，微细水滴是彩虹成因，并且用星盘做实地观测，证明以下三点：第一，如亚里士多德所宣称，太阳、眼睛与彩虹光环中心三点的确在同一直线上；其次，当太阳处于地平线的时候，彩虹顶点的仰角必然是42°，而且这角度和日晕（halo）的视张角相同；第三，太阳仰角超过42°的时候便不可能出现彩虹。从上述几何关系他又根据在不同纬度地点和不同时刻的日高来推算彩虹不可能出现的情况——例如，在巴黎夏季的正午，或者在爱丁堡的某些季节，彩虹即不可能出现。此外他还有一个重要发现，就是彩虹的大小、形状、方向不会由于观察者位置的移动而有任何改变。这也就是说，在不同位置的观察者所见，是由不同微细水滴所形成的不同彩虹。但对于彩虹颜色成因，他则认为只是由于人的视觉所致，而并没有客观性。在结论中他很谦虚也很实在地承认："所以这些问题不能单靠议论而获得充分解释，因为这整个学科都依赖实验。由于这原因，我并不认为我已经掌握这问题的全部真理，因为我还没有做完所有需做的实验……"①

---

① Roger Bacon/Burke 2006, p. 615（*Opus Majus* Pt. 6, Ch. 12）.

波兰光学家

比罗杰培根晚半辈的，还有出生于波兰西南部西里西亚（Silesia）的维提罗（Witelo，约1230—1275）①。他的事迹非常模糊，大致是在帕多瓦大学求学，曾经到罗马教廷任职，有可能在那里见到罗杰的《主集》，特别是其中的光学论著。他一生最重要的工作是在1270年左右写成十卷本的《光学》（*Perspectiva*），此书呈献给翻译家摩尔巴克，它成为中古以至16世纪末期最重要，也最广为学者研习的权威著作。此书以海桑《光学汇编》为根据，并且明显秉承格罗斯泰特、罗杰培根等13世纪英国光学传统，包括前者的光之形而上学和实验科学理念，不过其中也有他自己的研究和创见。此书随后影响英国坎特伯雷大主教佩卡姆（John Peckham，卒于1292），促成他撰写颇受欢迎的介绍性著作《光学通义》（*Perspectiva Communis*）。

维提罗对于光的折射做了仔细的定量实验，这基本上是跟随托勒密和海桑的工作，他自己的贡献在于设计精密测试仪器，从而可以有系统地改变光线在不同介质界面的入射角，然后测定其出射角；并且不但可以测试光线从稀薄介质（例如空气）进入浓密介质（例如水或者玻璃）的折射，还可以测试逆过程，即光线从后者进入前者的折射。他从而发现，在折射过程中光的途径基本上可逆。但他有部分实验结果并不准确，而且有些显然是虚构的——因为他还没有意识到“全反射”作用的存在。此外他对入射角和折射角之间关系做了种种猜测，但仍然未曾发现正确的定律。

在彩虹研究方面维提罗获得很大进展，这大致有三个方面。首先，他肯定罗杰培根的见解，认为彩虹会随观察者移动这点足以证明微细水滴是彩虹成因：因为在不同位置所观察到的彩虹必然要由不同水滴造成。另一方面，他认为折射与反射两者都有关系：阳光是先经过云气前面某些水滴

---

① 有关维提罗的生平和工作，见 Crombie 1953，pp. 213－232；Boyer 1987，pp. 102－109；DSB/Witelo/Lindberg。

的折射，然后由再后面的水滴在其表面反射形成；彩虹中不同颜色的光环就是由处于不同云层深度的水滴反射所形成。其次，他普遍化了罗杰培根所发现的角度关系，即指出阳光入射线与仰望彩虹顶点的视线之间必然形成42°夹角，太阳在地平线或者阳光入射仰角为42°的情况只是两个特例而已。第三，他观察从小窗户进入暗室的阳光光线在通过正方形、六角形水晶，或者球形玻璃水瓶之后，所产生的散射（dispersion）和类似彩虹的色谱，从而证明折射是产生彩虹颜色的原因。他这三方面的研究和发现都很重要，事实上几乎所有提供正确解释所需要的元素都已经齐备，只等待最后的突破出现了。

中世纪的科学典范

终于解决彩虹问题的，是德国弗赖堡的西奥多里克（Theodoric of Freiberg，约1250—1311）①。他比罗杰培根只晚一辈，是多米尼加修士，做过维尔茨堡（Würzburg）修道院执事，后来升任修会的德国分会会长（1293—1296），并在巴黎获得神学教授证书（1297）。1304年他以德国代表身份赴图卢兹出席修会的全体大会，当时由于会长要求，将历年光学研究成果著为《论彩虹及光象》（*De Iride et Radialibus Impressionibus*）一书对所谓“光象”即彩虹、日月晕、幻日（mock sun）、星晕等等天空光学景象作了系统和详细的论述。

从此书我们得知，西奥多里克虽然意识到彩虹颜色与阳光通过水滴时的折射作用有密切关系，但他仍然为亚里士多德“四因说”所困，因而无法为阳光的散射和分析为多种色彩找到正确解释——这还得等待数百年后的牛顿。另一方面，经过仔细观察阳光透过球状水瓶和六角形晶体这些“仿真水滴”的情况，他做出了三个重大发现。第一，阳光从斜角方向透过“仿真水滴”的时候，它不但在进出水滴时有折射作

① 有关西奥多里克，见 Boyer 1987，pp. 110－130；Crombie 1953，Ch. 9；DSB/Dietrich von Freiberg/Wallace。至于彩虹研究自中古以迄17世纪之发展则见 Crombie 1953，Ch. 10 以及 Boyer 1987，Ch. 5－9。

用，而且光线的一部分还会在水滴内面被反射，即发生“内反射”（internal reflection）作用。根据这个现象，他推断：彩虹是阳光进入大气众多微细水滴之后，在每一颗水滴中发生同样的折射和内反射作用而形成。第二，阳光经过“仿真水滴”的折射和内反射之后分解为不同颜色的光线，它们各有不同射出方向，所以在任何特定方向只能够见到一种颜色，因此观察者同时见到彩虹中的多个色环，那必然是来自不同位置水滴的内反射。最后，阳光在水滴中有可能经过两趟内反射然后才折射到外面，这就会形成“主彩虹”之上的“次级彩虹”。这两个彩虹在观察者所见，其视夹角必然是 11°。在上述讨论中他犯了不少错误，但这无损于他的基本贡献，即通过实验发现内反射现象，从而为彩虹现象提供基本正确解释。这是出现未及百年的实验理念应用到光学上的成功典范。不过，他这发现虽然是原创，却不一定最早，因为，如我们在§8.8 所指出，在大致同时伊斯兰科学家卡玛阿丁已经作出相同独立发现，虽然这要到 20 世纪才为欧洲学者知悉。从图 10.2 与图 10.3 可见，西奥多里克在其专书中所绘的图解虽然有不少细节上的错误，但大体上对于所谓“主彩虹”和“次级彩虹”的基本成因是已经得到正确了解了。

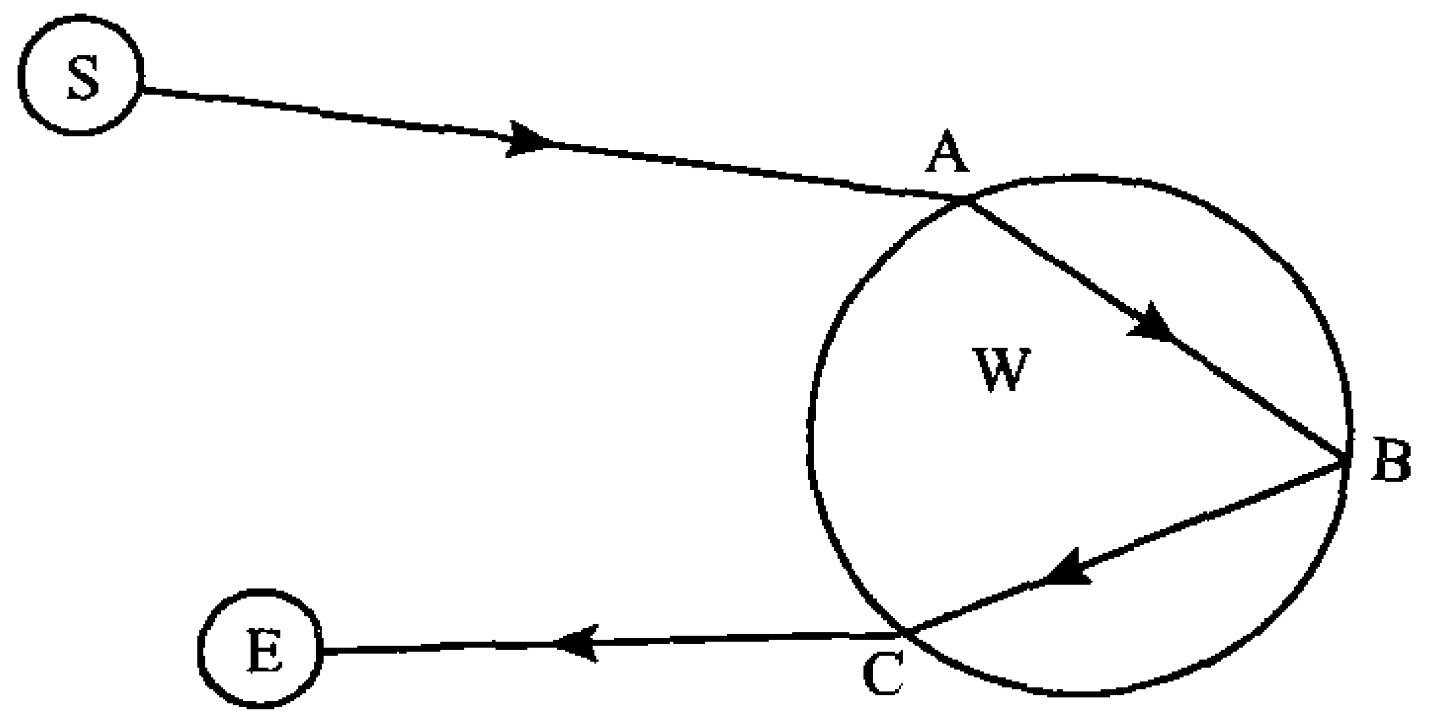


图 10.2　西奥多里克《论彩虹》手稿所绘彩虹成因图像的重绘示意图。S 为日，W 为空气中微细水滴，E 为观察者眼睛，A 为入射日光在水滴表面发生折射点，B 为日光在水滴内发生“内反射”点，C 为出射日光发生折射点。原图为 Freiberg, *De Iride*, ii. 18 - 20, MS Basel F. IV. 30, f. 21r，藏于 Oeffenliche Bibliothek der Universität Basel，此处根据 Crombie 1953, p. 257, Fig. 9 简化重绘。

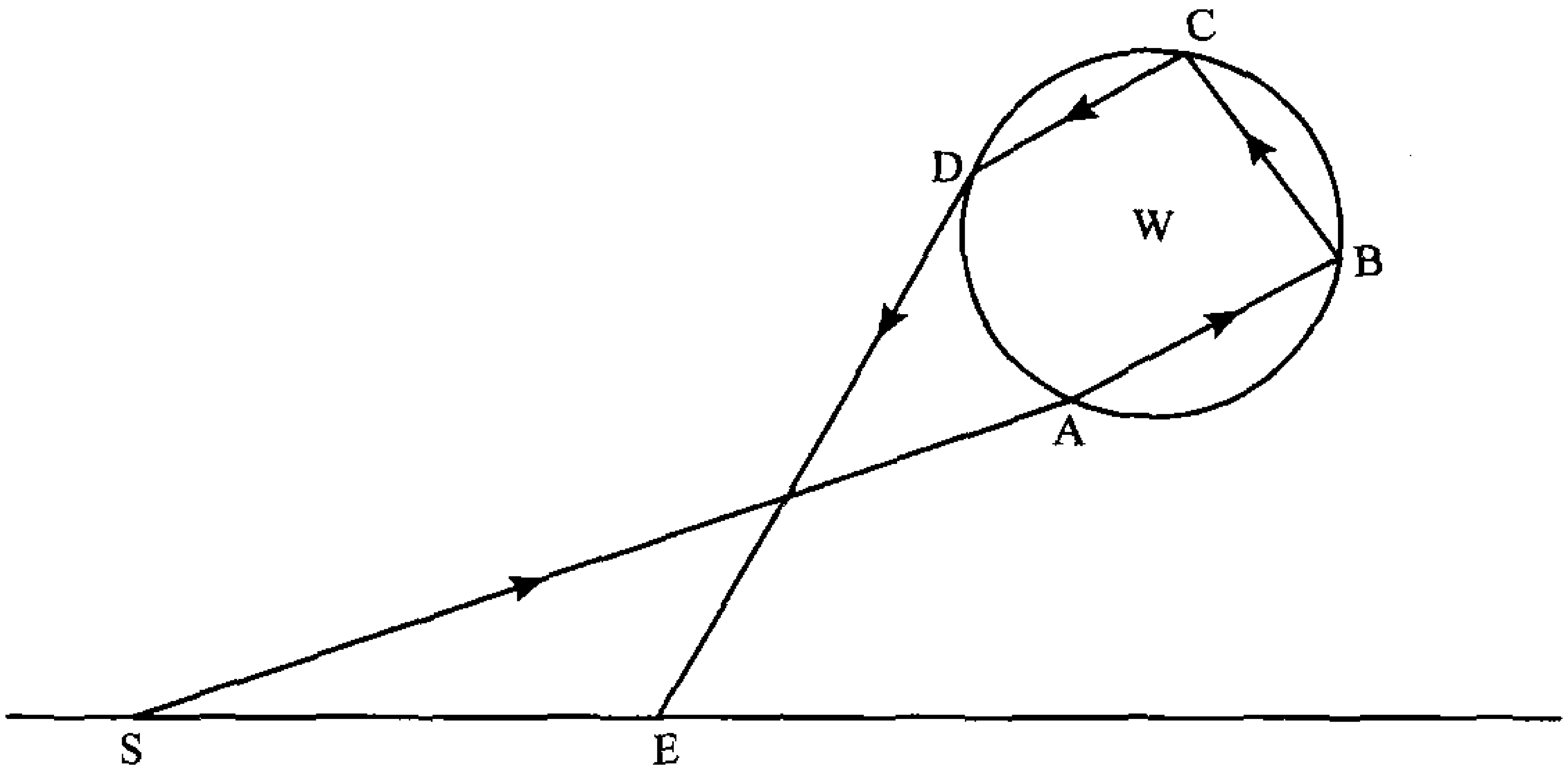


图 10.3 《论彩虹》手稿所绘"次级彩虹"成因图像的重绘示意图。S 为日，W 为微细水滴，E 为观察者眼睛，SA 为入射光线，DE 为出射光线，在水滴内光线在 B 及 C 点先后发生两次"内反射"。原图为 Freiberg，*De Iride*，iii. 2，5，MS Basel F. IV. 30，f. 38r，所藏图书馆与上同，此处根据 Crombie 1953，p. 258，Fig. 14 简化重绘。

在西奥多里克之后的四个世纪，彩虹研究成为延续的传统，其传人如法国的谭蒙（Themon Judaeus，活跃于 1355）和意大利的摩罗力高（Francesco Maurolyco，1494—1575）都有名声，而且这方面成果从 15 世纪开始大量印刷出版，引起包括达芬奇在内的学者广泛注意。但真正超越西奥多里克而对彩虹获得更彻底了解，则要等到 17 世纪的斯涅尔（Snell）发现折射定律，笛卡儿（Descartes）利用此定律准确计算彩虹色环的角度，以及牛顿对色散现象作深入解释了。

磁学研究的先驱

中国的四大发明向来被认为是在 13 世纪前后通过蒙古西征而传入欧洲，其后对欧洲的科技和社会发生强烈冲击。但磁石在欧洲出现虽然肯定晚于中国，其自东而西的传播却始终缺乏直接证据，因此只能够视为假设①。无论如何，就欧洲中古的实验科学而言，由于佩里格林纳斯（Peter

① 四大发明其中三项传入欧洲的简括讨论，见 Rice 1970，pp. 1 - 18，但作者并没有提及磁石和指南针的传播。李约瑟曾经详细论证中国发现和利用磁石远早于欧洲，但仍然没有提出传播的直接证据，见 *SCC* Vol. 4，Pt. I，pp. 229 - 334，特别是 pp. 330 - 334。并见本书"总结"部分第七节有关古代中国的磁石论述以及磁作用对科学革命的可能影响。

Peregrinus of Maricourt，1220—1270）这位犹如云龙见首不见尾的人物，磁学研究变得非常瞩目①。从《三集》和《主集》多处详细描述，我们知道罗杰培根在1266—1269年间与佩里格林纳斯过从甚密，深为敬佩其渊博学问、治学方法与淡泊名利，因此以师礼相待。佩里格林纳斯对整个实验科学领域，包括医学、化学、农学、冶炼、军事、武器制造等都有广泛研究，但知名后世则是由于其《磁学书简》（*Epistola de magnete*）②。从此书自述，我们得知它是作者于1269年在军中所作寄予邻村朋友者。此外就再也没有关于他的任何其他资料了。

《磁学书简》分为实验与仪器制造两部分。第一部是确定磁石性质的系统性实验，包括如何自其对铁的吸引来辨认磁石；如何用磁铁针来确定圆浑磁石的两极位置；如何用浮水法来分辨磁石的南北两极；磁石或者磁铁之间的相吸与相拒作用；磁石对铁条的起磁作用（即令其变为磁铁），以及对磁铁的逆转两极作用；磁石在分割后的磁性，以及将分割了的磁石重新接合的可能；地磁与磁性作用由来的讨论，等等。第二部则讨论指南针制造，包括浮水式和针支式两种不同的指南针；以及指南针在观测天象以定时辰和导航上的应用。作者甚至还描绘了应用磁铁和磁石来制造永动轮的方法。《磁学书简》提供了关于磁现象的系统和全面认识。虽然这只限于表象描述层次，而尚未进到数学理论，但同样是实验科学的典范。此书引起不少经院哲学家的兴趣，但他们的议论大都集中于磁力超距作用的意义，至于在实验研究方面，则要待三百多年后吉尔伯特（Gilbert）的《磁学》出版，才算得到真正的继承者。

---

① 有关佩里格林纳斯，见DSB/Peregrinus/Grant。他是今法国北部Maricourt地方人，自称Peregrinus，那是朝圣者之意，因此他可能自视为十字军的一员。

② 《磁学书简》的英译见H. D. Harradon，"Some Early Contributions to the History of Geomagnetism-I"，in *Terrestial Magnetism and Atmospheric Electricity*（现改名the *Journal of Geophysical Research*）**48**（1943），pp. 3－17，其中pp. 6－17为《书简》文本的翻译；至于《书简》内容综述，则见Crombie 1953，pp. 204－212。

五、中古数学与天文学

13 世纪科学的主旋律是实验科学，但数学和天文学并非完全空白。不过，要在辉煌大传统之中翻陈出新自属艰难，因此，虽然英国从 12 世纪之初就有数理天文学传统，但下文提到的几位科学家都只能够视为传统继承者，只有费邦那奇却完全例外。

超越时代的天才

在 5—15 世纪这整整千年间，费邦那奇（Fibonacci，约 1170—1250）在欧洲数学史上是座挺峭而孤立的高峰①。这不难解释，因为他与奥玛开阳、善马窿等数学名家属于同一世纪并且深受他们影响，故此实在应该视为伊斯兰数学传统在欧洲萌发的奇葩；另一方面，他虽然成就超卓，却只是以西西里宫廷学者和比萨商用数学专家见称，而始终与大学无缘，故此在欧洲主流学界藉藉无闻，后继乏人。

费邦那奇与格罗斯泰特同时，但和其他中古科学家完全不一样。他出身意大利比萨（Pisa）商人家庭，弱冠之年到北非布基亚（Bugia，比萨的贸易据点）依随父亲，因此得以学习伊斯兰数学，其后周游地中海周边的埃及、叙利亚、希腊、西西里、法国南部的普罗旺斯等地经商，同时继续潜心研究数学，与当地学者交往、讲论，因而得以吸收柯洼列兹米的《代数学》和欧几里德《几何原本》这两方面传统。他在三十岁左右返回比萨本邦，其后陆续发表《算术书》（*Liber abaci*，1202 &1228）、《实用几何学》（*Practica Geometriae*，1220）、《精华》（*Flos*，1225）、《平方书》（*Liber Quadratorum*）等多种著作，因而名声鹊起，不但通过翻译家“苏格兰人”米高见知于神圣罗马皇帝、西西里国王腓特烈二世，得以与他

---

① 关于费邦那奇，见 DSB/Fibonacci/Vogel，以及 Boyer 1985，pp. 279 – 283。他原名利奥纳多（Leonardo of Pisa），但后来一般被称作费邦那奇，即邦那奇（Bonacci）家族成员之意。

的宫廷学者特奥多鲁斯（Theodorus Physicus）、多米尼加（Dominicus Hispanus）、约翰（Johannes of Palermo）等论学，更于1225年皇帝临幸比萨的时候得蒙召见。由于《算术书》有巨大实用价值，他在商业数学的推广和教育上也尽过许多心力，所以在本邦广受尊敬，在晚年（1240）更获特颁薪俸。

《算术书》是费邦那奇成名作，流传极广，它是呈献给翻译家米高的，我们从献词自叙稍为得知他生平概况①。此书原是为商业应用的初等算术，即四则算法、分数、比例、开方、单位换算，等等，也包括一次和二次方程式解，表面上没有什么特别。它名声那么响亮，历久不衰，主要是以下几个原因。首先，它引入了源自印度的阿拉伯数目字（包括“0”的记号）以及现在通行的“位置记数法”，还有四则运算的列算方式，由是大大简化、方便了在日常生活中不断遇到的实际算术运作，这对于计算技术的重要性是无可比拟的。其次，在纯数学上它也有重要建树，这包括好些巧妙算题，但最重要的是确立负数观念和正负数混合运算的法则，以及首先提出所谓“费邦那奇数列”观念②。最后，它条理清晰，层次分明，显示了作者对全部题材了然于胸，因此能做到举重若轻，令人叹服。

《实用几何学》则呈献给上述的多米尼加，它继承了欧几里德和赫伦两种迥然不同的风格，也就是糅合古希腊、巴比伦和阿拉伯传统，一方面论证严谨，构思精妙；另一方面则注重应用，将代数方法应用到多种实测问题上去，包括三角形中线交点（即其重心）必然将三条中线作2∶1分割的证明，以及勾股定理的三度空间推广。至于《精华》则是巴勒摩的约翰以三道难题向他请教的响应，其中最有名的，是证明了奥玛开阳所首

---

① 《算术书》有下列英译本：Fibonacci/Sigler 2002，其中的“导言”有费邦那奇简介。此书书名直译是《算盘书》，但其内容全是算术，这是“算盘”的引申意义。

② 费邦那奇数列 u_n 的定义是它每一项都是前两项之和，即 $u_n = u_{n-1} + u_{n-2}$，因此以1为开始两项，则数列是1，1，2，3，5，8，13，21，…。这序列有许多特殊性质，例如可以证明任何相邻两项都是互素，而且在序数趋向无限大时前项与后项之比趋近于黄金分割。当代有《费邦那奇季刊》（*Fibonacci Quarterly*），是专门为此数列以及相关问题的研究而出版。

先提出的三次方程式 $x^3+2x^2+10x=20$ 能够有 $a+\sqrt{b}$（其中 a，b 是有理数）形式的解，并且求得准确至小数 9 位的近似解 1.3688081075（原解是以六十进制记载：$1°22'7''42'''33^{IV}4^{V}40^{VI}$）。他并没有说明解法，但当时正值中国李治、朱世杰、杨辉、秦九韶等所谓金元四大家在世的年代，他颇有可能从阿拉伯人处间接得知中国的代数方程近似解法，即日后所谓"Horner's method"。但他最高妙的著作还是《平方书》，它和腓特烈二世的宫廷论学也有密切关系，基本上是一部以不定分析为主的数论专著，其水平被认为只有千年前的丢番图和 400 年后的费马差可比拟。它的题材环绕所谓"毕氏三数组"（Pythagorean triplets，即适合 $a^2+b^2=c^2$ 关系的 a，b，c 数组）展开，其中最简单而为人熟知的结果是，以任意整数 p，q 即可产生毕氏数组 2pq，p^2-q^2，p^2+q^2。除此之外，书中还证明了许多精妙定理，例如：无论 p，q 为何整数，p^4-q^4 都不可能是整平方，因此 p^2-q^2，p^2+q^2 二者则不可能同时是整平方；以及求得在何种情况下，$a+b+c+a^2$，$a+b+c+a^2+b^2$ 与 $a+b+c+a^2+b^2+c^2$ 三者可以同时是整平方，等等。

费邦那奇虽然未必精通希腊文和阿拉伯文，但熟悉这方面的专用数学词语，而且他生于翻译运动高潮，所以有幸通过阿德拉、切斯特的罗伯特、吉拉德等翻译大家的作品，博览欧几里德、阿基米德、赫伦等人的经典，以及柯洼列兹米、穆萨兄弟、卡米尔、卡拉吉、奥玛开阳等伊斯兰数学家的著作，甚至间接接触到中国和印度数学，学术渊源可以说是既深且广。他唯一没有直接读到的，只是到 17 世纪方才有拉丁译本的丢番图著作而已。不过，说来令人纳闷亦复惋惜，他纯数学方面的工作并无传人，也没有发生多少影响。这一方面是由于它远远超越时代，但更可能是由于他属于地中海商人阶层，和教会或者当时刚刚出现的大学并无来往，因此不为阿尔卑斯山以北的巴黎、牛津学者注意。无论如何，一直要到 15 世纪末才有帕乔利提到他的实用数学贡献，从而引起卡尔丹诺在下一世纪的注意。但他的数论和不定分析则仍然无人理会，甚至到 17 世纪，费马的数论研究仍然只是以丢番图为基础。他的著作终于得以结集出版和为人研究，已经是 19 世纪的事情了。

接续数理天文学传统

和费邦那奇同时的，还有不少其他数理天文学家，但他们主要是研习、消化和论述古代经典和伊斯兰学者的成绩，说不上创见和新发现。这既有亚里士多德的影响在起作用，也因为这方面的发展已经极其精密复杂，不惟难以翻陈出新，即使是了解、掌握像《大汇编》那样宏伟精深的专著也很不容易——事实上，这恐怕是当时大部分学者所不及的。因此 13—15 世纪之间的数理天文著作大多是论述旧学的教材，意义主要在于接续传统①。

这些学者中最为人熟知的数英国人萨克罗博斯科（Johannes Sacrobosco, John of Hollywood，约 1195—1256）②。他比罗杰培根稍早十多年，在牛津受教育，然后赴巴黎（1221），其后成为数学教授，并于 1230 年出版天文学教本《论球面》（*Tractatus de Sphaera*），此书后来风行一时，直至 16—17 世纪仍然为大学沿用。除此之外，他主张采用阿拉伯数目字和六十进制，并认为儒略历有严重错误，应当推行历法改革。

比他稍晚的是德国学者约旦纳斯（Jordanus Nemorarius, Jordanus de Nemore，1225—1260）③。他的身世、事迹没有确定资料，我们只能够从他传世的算术、几何学、代数、天文等六种著作推测他精于数理，热心推动阿拉伯数字和算法，是当时极有名望的自然哲学家④。这些著作中《算术方法原本》（*De elementis arithmeticae artis*）沿袭毕派传统，以数论和所谓“数字神学”为主，是继尼高马可斯《算术导论》之后的标准算学教材而风行多个世纪。它最有新意的特点是开始用字母来代表数字，这比欧几里德和柯洼列兹米都要进步，可以说是走向符号数学的关键性改进。至于《计算法》（*De numeris datis*）则沿袭柯洼列兹米的一次及二次方程式

---

① 有关中古早期理论天文学水平低下的情况，见 Pedersen 1974, pp. 17 - 19。

② 他的事迹和工作，见 DSB/Sacrobosco/Daly。

③ 有关约旦纳斯与下文的康帕纳斯，分别见 DSB/Jordanus/Grant 与 DSB/Campanus/Toomer。

④ 他与多米尼加修会的第二任会长 Jordanus de Saxonia 有可能是同一人，这点争讼多年，是学术史上悬而未决的公案。但倘若此点属实，那么他就应当见过格罗斯泰特，并且是将大阿尔伯图介绍给后者的人。

解法，它也同样以字母表示一般数目，但仍然未曾进步到以算式替代语言描述。他最具有创意的工作是在《论重力计算》(*De ratione ponderis*) 一书中发现了在斜板上的重力分解公式，即放置在倾角为 θ 的斜板而重量为 W 的重物，其沿斜板方向的重力为 $F = W\sin\theta$。这问题古希腊和罗马学者都曾经研究，但始终未曾发现正确答案，而约旦纳斯的公式也并不为同时乃至后来学者如达芬奇所信服：它一直要到 16 世纪中叶才得到比利时力学家斯特文 (Stevin) 的证验①。

和约旦纳斯同时的，还有意大利学者康帕纳斯 (Johannes Campanus of Novara，约 1220—1296)。他作为数理天文学家颇有名望，为罗杰培根所推重，却又是教皇乌尔班四世 (Urban IV) 和另外一位枢机主教的专用牧师，因此能够享受优渥待遇。康帕纳斯以重新翻译欧几里德的 15 卷本《几何原本》著名，这新译参考了多种阿拉伯资料以及阿德拉的最早译本，其后成为权威定本，在 1482 年更被印行，成为最早印刷本②。他又著有《行星理论》(*Theorica planetarum*)，它基本上是简化《大汇编》而成，有关数据则是结合《大汇编》和阿拉伯天文学家札噶里在 1080 年领导编纂的《托莱多天文数表》两者资料而来，但当时还出现了另外一本不知名作者的《行星理论》(亦有人认为作者是吉拉德或者萨比奥尼塔的吉拉德，即 Gerard of Sabbioneta)，这两部著作连同 1270 年编成的《阿方索天文数表》(见 §8.7) 在其后两个世纪间成为欧洲标准天文学教本，以迄 15 世纪末才为波尔巴赫 (Peuerbach) 的《新行星理论》取代③。

六、科学小传统：炼金术

数理天文是西方科学的“大传统”，炼金术是“小传统”。这分野的

① 有关斜板上重量研究历史，特别是约旦纳斯的发现及其影响，见 Clagett 1959，Ch. 1－2，特别是 §2.1－2.2。

② 此译本的第四卷附了一个三分角的简单作图方法，颇具巧思，详见 Boyer 1985，p. 285。

③ 有关不知名作者《行星理论》的历史见 Pedersen 1974，pp. 18－19 以及其中所征引的文献；至于康帕纳斯的《行星理论》，则见 DSB/Campanus/Toomer。

标志是：数学、天文学向来是大学本科必修课程，炼金术则从来被排斥于大学课程以外，只是由学者在私下，甚至隐秘地修习、研究。然而，自中古以至17世纪，它也从来没有被数理科学家所忽视：从大阿尔伯图、罗杰培根一直到玻义耳和牛顿，都曾经涉足于这个传统，牛顿还是一位最勤奋的炼金师，而最后它也的确转化为现代化学。我们在此继续§6.5和§8.5的工作，把它在中古的发展作简略讨论①。

中古欧洲的炼金术

炼金术和天文学、数学、星占学一样，也是在12世纪通过翻译运动传入欧洲，它最早的典籍是罗伯特所翻译的《炼金术》，其中特别提到这门学问通过莫里安纳斯传给雅兹德，亦即从拜占庭传入伊斯兰世界这一段渊源；其后吉拉德更翻译了拉齐的两种著作以及札贝尔的“七十部书”（§9.3）。在此时期许多与化学、炼金有关的阿拉伯词汇同时通过音译而进入拉丁词汇，像“alchemy”、“alembic”（蒸馏瓶）、“alcohol”（乙醇）、“alkali”（碱）、“elixir”（灵丹）、“naphtha”（石脑油）、“carboy”（窄口瓶）等等，只不过是其中最普通的而已，由是可知，这在当时其实还是相当陌生的一门新学问。

大阿尔伯图有多种炼金术著作，其中最完整、有系统的是《炼金书》（*Libellus de Alchimia*），它是一部清晰、务实、有系统，没有掺入魔法或者神秘思想的百科全书：先是重复传统的金属二元合成和转化理论，然后告诫炼金师必须注意以下八桩实际事项：以安静和隐秘方式工作，有专用房屋作为实验室，注意季节和天时，要有耐心和勤奋不懈，工作有条理和按照一定程序，应用玻璃器皿，避开王公权贵；最后，还要准备充分资金。然后，它依次讨论转化所得金属的性质（主要是外观和物理性质与真品无异，但可能缺乏特殊性质，例如转化金不能够治麻疯）；各种矿物、化

① 有关欧洲中古炼金术与化学见 Holmyard 1968，Ch. 6，以下的论述即据此；此外 Crombie 1961，i，pp. 129－139 有简短论述；桑达克的《魔法与实验科学史》亦包含大量这方面资料，散见于 Thorndike 1923－1958，iii－iv：Ch. 3－5，9－11，22，36－38，53；v－vi：Ch. 19，24，28－29，37。

学物质、染料、染剂的性质；各种化学程序，例如制粉剂、制溶剂、蒸馏、以水银、硫磺、雌黄、砷等加白，等等；最后则是制造贵金属方法的简短讨论。罗杰培根在他《主集》的“实验科学”部分也提到炼金术，虽然只是作为例子来作简短讨论，但他末了宣称“科学家认为，那些能够摒除卑下金属中杂质与腐朽（成分）的药物，也能消除人体中之腐朽而延年多纪”，却很值得注意，因为这不但与中国炼丹思想相通，而且也预示了炼金术在16世纪的发展方向①。

但13—14世纪的炼金术专家则是西班牙的鲁利（Ramon Lully，1232—1315）和维兰诺瓦（Arnold of Villanova，1235—1311）。维拉诺瓦出身贫苦，后来成为名医，精通拉丁、希腊和阿拉伯文，曾经因治愈阿拉贡国王彼得三世和教宗卜尼法斯八世的重症而得到赏赐堡垒，并且成为蒙波利埃医科大学教授，但由于其神学见解和攻击腐败教士，也惹过很多麻烦。他喜好魔法，在治病时应用符偶，有多部炼金术著作，其中以《哲学家之玫瑰》（*Rosary of Philosophers*）为最完备，它的特点是着重水银作用多于硫磺，甚至认为后者有害于金属。至于鲁利，其实是个学养深湛的哲学家，曾经出任阿拉贡王储导师，后来以九载之功通晓阿拉伯文，然后三度赴北非传教，最后竟以身殉教。他并不相信金属转化，多种依托他名下的炼金书籍是赝作，然而却有许多“点铁成金”的神奇故事与他拉上关系，这正足以说明当时一般人如何容易入信吧②。

最后，在13世纪下半叶还出现了多部依托札贝尔名下的拉丁文著作，即所谓“葛贝尔典籍”（*Geberian corpus*），包括《炼金术总论》（*Summa Perfectionis*）、《炼金术探究》（*De investigatione perfectionis*）、《见证》（*Testamentum*）等等。它们虽然同样秉持标准炼金术理论，但立论清晰有条理，内容务实，作风接近于实际从事于实验工作者，而迥异于札贝尔的阿拉伯文著作，所以，经过详细考证之后学者都一致认为并非

---

① 有关大阿尔伯图部分，见 Thorndike 1923－1958，ii，pp. 567－573；有关罗杰培根者，见 Bacon/Burke 2006，pp. 626－627，引文在 p. 627。

② 鲁利的详细事迹见《三位著名炼金师》一书，即 Waite，Spence & Swainson 1939。

译作，而实在是欧洲学者依附之作。这批典籍中最重要的是《炼金术总论》，因为根据考证，大阿尔伯图的《炼金书》、维拉诺瓦的《哲学家之玫瑰》，乃至鲁利的《见证》等几种重要著作（无论其是否赝作）都直接或者间接根源于《总论》，这包括在“二元合成论”中强调水银的作用，甚至以之为“点金石”唯一构成元素的思想①。

炼金术大辩论

在13世纪炼金术虽然风行，却并非没有阻力——金属变异是否可能，一直在学者和教会间有激烈争议。反对炼金术的主要原因大概是要禁止铸造赝币，但最早的理论根据则是阿维森纳，他这方面的论著在大约1200年被翻译成拉丁文并附入亚里士多德《天象学》第四卷之后，因此成为极大权威。这引起罗杰培根和另一位著名学者博韦的文森特（Vincent of Beauvais，约1190—1264）的反驳；后来意大利阿西西（Assisi）的方济各学院教师塔伦托的文森特（Vincent of Tarento）也撰了一本《理论与实践》（*Theorica et Practica*）为炼金术辩解，此书很可能就是《炼金术总论》的源头②。但这些辩解反而导致大主教贾尔斯（Giles of Rome，1243—1316）在1286—1291之间更猛烈的攻击——贾尔斯的老师阿奎那也同样明确地反对炼金术。事实上，在1270—1300年这30年间，法国和西班牙地方教会曾经多次下令禁止炼金术。最后，亚维翁尼的教宗约翰二十二世（John XXII，1316—1334）就此举行了公开辩论大会（disputation），并在1317年下诏明令禁止炼金术，特别是以此所得金属来铸币。他列举的理由就是伪币泛滥法国，而不涉及炼金术的原则可行性。然而，争论仍然没有止息：在14世纪初还有一位达斯廷（John Dastin）分

---

① 纽曼在Pseudo-Geber/Newman 1991一书中，除了整理《炼金术总论》的拉丁文本，并且将之翻译成英文以外，还有对此书源流的详细考证和讨论，其中第五章讨论其对中古欧洲的影响。

② 根据纽曼考证，《炼金术总论》源出于《理论与实践》，但两者都是不见经传的塔伦托的文森特所作。此事以及有关炼金术大辩论的讨论，分别见Pseudo-Geber/Newman 1991，Ch. 1，2。

别上书教宗和枢机主教为炼金术辩护；而波纳斯（Petrus Bonus）在1330年左右所作的《珍贵之新珠》（*Pretiosa Margarita novella*）也同样是炼金术的申辩书。

我们不必深究这场历时大半个世纪的大辩论中正反双方理据的细节，但为炼金术申辩者有一个中心思想却非常值得注意，那就是强调凭“技艺”（art）可以及得上，甚至超越自然。换而言之，人力可以胜天，因此将自然生成的金属随意愿转化是可能的。这就炼金术本身而言虽然完全错误，但其基本精神却预示16世纪魔法热潮所带来的人之无比自信（§11.6），乃至17世纪培根“知识就是力量”和“征服自然”等观念，所以和现代科学革命也是有关系的。

七、动力学与分析学前驱

13世纪欧洲科学以光学、磁学和数论为主，在这三方面都取得显著进展，然而这和17世纪的科学突破说不上有直接关系。但14世纪的数学和力学理论则成为17世纪动力学的前驱，所以是非常重要的。它最初表现为对亚里士多德运动学的质疑，以及寻找新规则的尝试，然后通过数学的应用朝分析学的新方向前进。这发展仍然以牛津—巴黎为中心，开其端者是上文提到的英王跟前红人，最终登上坎特伯雷大主教宝座的布拉沃丁，殿军则是法国王室宠臣，同样登上主教高位的奥雷姆。不过，他们在学术上的建树其实都在担起政教重任之前，亦即在大学潜心修习、研究的期间就已经完成了①。

学者、宠臣和大主教

在中古欧洲，倘若说巴黎是经院哲学与神学之都，那么自然哲学之都

① 克拉格特的《中古力学科学》即Clagett 1959是13－14世纪力学原始文献译文的巨册汇编，其中包含大量与本章有关资料，书前导言与最后两章则提供概观与分析。有关中古动力学的讨论尚见Grant 1977，Ch. 4，以及Weisheipl 1959，那是非常扼要的简论。

的荣耀毫无疑问应当归于牛津。它不但在13世纪产生了格罗斯泰特、罗杰培根和实验科学，而且在14世纪又产生了布拉沃丁和摩尔顿学派，从而成为理论力学发源地。这也许是彼得阿方斯、阿德拉等的早期科学传统使然，也可能与牛津远离罗马教会，故而在思想上脱离神学笼罩有关。无论如何，牛津是中世纪科学思潮中心，而在那里引领风骚者日后还成为教会领袖，这不能不说是很奇妙的现象。

事实上，我们颇可以从布拉沃丁（Thomas Bradwardine，1295—1349）身上看到上一世纪格罗斯泰特的影子。他家世和郡望不详，在不惑之年以前经历平淡，是爬升学术阶梯的典型牛津学者：二十来岁在文科毕业，成为贝理奥学院（Balliol College）院士（1321），两年后获教授资格，并转到当时最富裕、也最有规模的摩尔顿学院（Merton College）担任院士，10年后在神学院毕业（1333），其后获神学教授证书①。在此十余年间他著作不辍，其中最重要的是1328年发表的《运动速度比例论》（*Tractatus de proportionibus velocitatum in motibus*），那是他作为数学家和理论力学先驱的成名作；此外还有一部《连续体论》（*Tractatus de continuo*）以及一些算术、几何学和逻辑学作品。布拉沃丁的“牛津年代”在他毕业于神学院之后结束，自此一帆风顺，在教会中连连擢升：1335年应达勒姆（Durham）主教理查德（Richard of Bury）之召，赴伦敦主教府出任其专用牧师；两年后出任圣保罗座堂监督，1338—1339年间出任英王理查德三世专用牧师（chaplain）和告解神父（confessor），从而进入英国政教核心，他驳斥自由意志的《神因论》即是此时期作品。其时适逢英法百年战争，他曾经随英王出征并在祝捷大会上发表御前布道演讲，1349年他出任坎特伯雷大主教，然而天不假年，越月即蒙主宠召，死于瘟疫了。

---

① 布拉沃丁的生平和学术见DSB/Bradwardine/Murdoch以及下列两本著作，特别是其导论：（i）Bradwardine/Crosby 1955，这是他主要著作《运动速度比例论》的英译本和分析；（ii）Dolnikowski 1995，这是论述布拉沃丁时间与永恒观念的专书，其中分章讨论这些观念与他数种主要自然哲学与神学著作的关系。

修订亚里士多德

《速度比例论》是将数学引入亚里士多德运动学的第一部著作①。亚氏在《物理学》中提出，起动力 F 和“动体”的速度 V 成比例，但起动力低于物体“内阻力” R（例如人企图单独推动大船）的时候，则物体根本不会移动，$V=0$。布拉沃丁指出，以“比例”的通常意义来理解，这两个要求是矛盾而不可能同时实现的。他的巧妙解决方法是：倘若 V 以“算术比值”即倍数方式增加，而 F/R 以“几何比值”即指数方式增加，那么两个要求并不矛盾。这样所得到的“动力规则”相当于 $V/V_0=\log_a(F/R)$，其中 $a=\log(F_0/R)$，V_0 是动力为 F_0 时的速度；显然，它适合 $F=R$ 时 $V=0$ 的要求。这理论的细节不重要（见本章附录），然而，它是通过数学来讨论动力学的首个尝试，那是有象征意义的。

至于《连续体论》的主旨则可以归结为：“驳斥当时一批声势浩大、宣称连续体乃由不可分割部分或者原子所组成的学者的论战之作；而布拉沃丁则跟随欧几里德和亚里士多德，认为连续体的任何部分都是可以无限分割。”② 这里所谓“连续体”指的是线、面，立体等几何学上的事物。它是否可以无限分割之所以成为基本争论，是因为和古希腊哲学上几乎所有基本难题——例如对角线之不可测比，各种芝诺悖论，等等，都密切相关，而且解决此问题的企图，必然会引出各种难以严格论证的“无限”观念——无限大、无限多、无限小，等等。这些困难在古代导致原子论者以不可分割的原子为连续体的组成单位，因此在 14 世纪初的牛津也同样产生了“不可分割主义”的拥护者。我们在此不必讨论这些争论，但要

---

① 此书英译本导言除了叙述布拉沃丁生平和此书版本源流之外，还讨论了其影响，并有内容综述、分析，见 Bradwardine/Crosby 1955, pp. 11 - 54。此书第 3 章定理 12 并且提出“在真空中的‘混合体’倘若混合比例相同则移动速度相同”的观念，这和伽利略后来的著名定律非常相近。Grant 1981, Paper X 对这两者异同有深入讨论。

② 引文见 Dolnikowski 1995, p. 100；该书第五章对《连续体论》有详细论述。此外，这方面的研究专文，尚有 John E. Murdoch, “Thomas Bradwardine: mathematics and continuity in the fourteenth century”, in Grant and Murdoch 1987, pp. 103 - 137。

指出：布拉沃丁的驳斥相当彻底和有效，这对于日后微积分学的发展是关键，因为那必须以连续体和无限观念为基础。事实上，和布拉沃丁同时的摩尔顿学者就已经开始朝这个方向前进了。

摩尔顿学派：微积分学的滥觞

布拉沃丁所加入的摩尔顿学院成立于1263—1264年间，是牛津最早具有法定地位和资产的学院（college）①。由于它自始即颇具规模，而且体制完备，学者有充分自主权（它的院士整体对学院管理和财产都有近乎绝对权力），因此在14世纪之初无疑也是最富裕和活跃的学院。布拉沃丁的数理研究大概并非只是他个人的工作，而是和院中同侪切磋讨论的结果。因此，不少同时或者晚辈学者也朝相类似方向发展，形成了所谓“摩尔顿学派”（Merton School）。这批所谓“牛津算学家”（Oxford calculators）包括邓布顿、两位斯韦恩斯赫、赫特斯布利（William Heytesbury）等，他们的工作最早可以追溯到前述的著名经院哲学家邓斯司各脱以及其后的弗尔立（James of Forli）、布尔立（Walter Burley）、萨克森的阿尔伯特（Albert of Saxony）等人，而日后则成为微积分学滥觞②。

邓布顿（John of Dumbleton，活跃于1331—1349）和布拉沃丁同时，是学派主将，他的《逻辑与自然哲学总论》（*Summa Logice et Philosophie Naturalis*）讨论了当时在牛津非常之热门的“性质变化率”观念③。在这方面他有三个重要贡献。首先，通过讨论如何测度性质（quality）的“强度”（latitude）根据某种“延伸”（extension/longitude，例如时间或者长度）的尺度而变化的方式，他发现了最原始的函数观念：其所谓“延伸”就是变量，所谓性质强度，就是跟随其变化的函数。跟着，他对运动的变化

---

① 摩尔顿学院是1263年由日后成为罗切斯特（Rochester）主教的摩尔顿（Walter de Merton）将房产和其他资财捐赠予一个学者团体而成立，翌年即获得正式法人地位，在此之前牛津只有成立于1261年的贝理奥学院（Balliol College），但它只是由贝理奥爵士（Sir John de Balliol）的每年赠金维持，而且要到1282年才成为法人。见Rashdall 1958，iii，pp. 192－201，180－181。

② 牛津学派的渊源见波耶的《微积分学及其观念发展史》，即Boyer 1959，pp. 73－74。

③ 关于邓布顿，见Crombie 1953，pp. 181－188。

率详细分析为四种情况：（1）倘若运动在相等时段所产生的距离变化相等，则它是“均匀”（uniform）的；（2）倘若运动在相继的相等时段所产生距离变化有改变，那么它是“不均”（difform）的；（3）倘若上述距离变化不断以一定数量增加或者减少，那么运动是“均匀地不均”（uniformly difform）；（4）否则就是“不均地不均”（difformly difform）。很显然，以上四种变化方式分别相当于现代物理学的“等速”、“加速”、“等加速”和“不等加速”运动。

邓布顿另外一个重要发明是，以图解方式来表达强度的变化方式，即是将强度以垂直轴的位置表达，将延伸以横轴位置表达——也就是说，他已经开始探索，如何在 x—y 平面上描绘函数 $y = f(x)$ 了。最后，他的著作还记载了所谓“摩尔顿规则”（Merton rule），它在实质上相当于物理学中的“等加速运动所行经距离，等于在同样时间内以在一半时间所达到的速度（它等于平均速度）所行经的距离”。这规则强调了计算、连续性和物理学上的应用，它可以说是中世纪数学完全独立于古希腊几何学思维方式以外的第一个重要成果。

和邓布顿大致同时的，还有属同一学院的理查德·斯韦恩斯赫（Richard Swineshead or Suiseth），他的《计算书》（*Liber Calculationum*）相当有名，因此得到“计算家”（The Calculator）称号①。他关于各种性质强度变化的分析与邓布顿颇为相似，也同样应用“均匀”、“不均匀”等概念。他的特殊贡献在于将“性质强度”的观念推广到运动以外的其他物理量，诸如温度、亮度、密度、湿度，等等；并且首先提出了“流变量”（*fluens*）和“流变度”（*fluxus*）的名称，这到牛顿就分别演变为“变量”（fluent）和“变率”（fluxion），亦即导数（derivative）的数学概念。其次，更重要的，则是研究各种特殊强度变化的平均值，例如：在以几何级数递减的延伸段中，强度以算术级数增加，其平均值为何？这相当于求特殊无限级数之和，即 $\sum(n/2^n)(n = 1 \text{ 至 } \infty)$，而“计算家”不但没有在

---

① 《计算书》征引了《速度比例论》，因此出现在 1228 年之后。关于理查德·斯韦恩斯赫，见 Boyer 1959，pp. 74 – 79；Thorndike 1923 – 1958，iii，Ch. 23。

这问题中的三个“无限”（项数无限多，强度无限大和延伸段无限小）面前退缩，更能够在没有符号运算机制的情况下，以语言推理求得级数和的正确答案 2，那实在是很了不起的贡献。

另一位同时代同姓的“计算家”罗杰·斯韦恩斯赫（Roger Swineshead，卒于 1365）①是牛津神学家和教师，在 1328—1338 年间著有《论自然运动》（*On Natural Motions*），后来以修士终，但未必与摩尔顿学院有关系。他的“运动”观念来自亚里士多德，这不但指“位移”，而且还包括产生、改变、扩充与缩小等变化。为了处理这广义的运动，他引进了大量的特殊观念，但它们大都复杂而模糊不清，又往往牵涉吊诡的结论，诸如无限速度之类。不过，这还是值得注意的，因为他对于性质强度（例如物体温度）的讨论不但涉及时间变化，同时也涉及空间差异，换而言之，也就是触及了数学上所谓“场”（field）的观念，这是具有多变量的函数，它比单变量函数如只有时间变化的距离 x(t) 复杂得多。当然，14 世纪计算家仅能模糊地意识到这种数学观念，却无法处理它，那是不足为奇的。

八、巴黎的响应

巴黎是中古欧洲的思想中心，其潮流向来为经院哲学和神学所主宰，在 13—14 世纪之交由奥卡姆所引发的唯名论运动在此更是如火如荼，风靡一时。不过，牛津那么活跃的摩尔顿学派自然要对巴黎学风产生影响，这导致了布里丹和奥雷姆这两位重要自然哲学家之出现。

淡泊的学者：布里丹

布里丹（Jean Buridan，约 1295—1358）名满天下，但由于他终身

① 关于罗杰·斯韦恩斯赫，见 Edith D. Sylla，“Mathematical physics and imagination in the work of the Oxford Calculators：Roger Swineshead's *On Natural Motions*”，in Grant and Murdoch 1987，pp. 69 - 101。

在巴黎大学任教，而从来没有参加修会，或者出任王室或教会职位，所以一生平淡，几乎没有任何事迹传世①。我们只知道他出生于法国北方近比利时边境的阿拉斯（Arras）省，以普通教士身份被送到巴黎求学，大约在1320年毕业成为教授，随即名声鹊起，广受称誉，并且分别在1328年和1340年两度被推举为校长（rector）。他也逃不了布拉沃丁的命运，在大约1358年由于当时再度横扫欧洲的黑死病而去世。在哲学上他服膺唯名论，但言行谨慎，从不牵涉自然哲学以外的论争，因此得以超脱于当时的“唯名—唯实”理念冲突，未曾干犯神学家和教会禁忌。他的著作大致分为两类：与逻辑有关的包括教本《辩证法总论》（*Summula de dialectica*）以及两种专著 *Consequentiae* 和 *Sophismata*；此外还有多种与亚里士多德经典相关的评述与“问难”（*Questions on*）。

布里丹对于自然哲学的贡献可以分两方面。在科学哲学上他采取实证态度，即认为许多自然界原理必须求之于直接观测，所以它们没有“必然性”，也不可能从来自形而上学的原理求得：“这些原理不是自明的；我们甚至在很长时间对之感到疑惑。但它们称为原理，因为它们无法证明，也不能从其他假设推断，或者通过一定程序证明。但它们被接受，因为有许多例子显示它们为真，而并没有反例。”他特别强调：“在这些（指自然与道德）科学中绝对的、无条件的证据是不必要的。”② 这种谨守现实证据的态度，与亚里士多德以立足于抽象观念的形而上学为至高原则相对立。它为自然哲学开辟了另外一个与神之作为不相干涉的领域，而且间接承认神迹出现的可能，因此无形中消解了自然哲学与宗教之间的紧张。这样，从格罗斯泰特到布里丹，中古科学开始走上了一个与古希腊不同的方向：数学与理性观念仍然重要，但实际证据也获得相同重要性，这就是现代科学精神的开始。

在具体物理学研究上，布里丹的大贡献是首先提出“冲能”（*impetus*）

---

① 布里丹的生平和工作见 DSB/Buridan/Moody，以及 Grant 1977 与 Grant 1996 的有关部分。传说他曾经私通王后，因此被法王下令捆绑投入塞纳河，但这只能够视为对他极其谨慎平淡生涯所开的玩笑而已。

② Buridan, *Questions in Metaphysics* Ⅱ, Qu. 1 & 2，转引自 DSB/Buridan/Moody。

观念。这起于亚里士多德动力学的著名难题：如何解释向上抛掷的物体会先上升一段然后掉回地面？根据亚氏《物理学》理论，重物的“自然”运动是向下，它之上升是“剧烈而不自然”运动，因此必须要有与该物体接触的“推动者”（mover）才可能——例如，抛掷物体的手或者机械臂就是推动者。问题在于：为什么物体离开推动者之后仍然能够上升相当距离才掉下来①？亚氏以空气为推动者的解释显然很难令人信服，因此受到古代学者费劳庞诺斯与伊斯兰学者阿维森纳的批判（§8.6），后者并因此提出“传施能力”（impressed virtue，*virtus impressa*）的观念，认为抛掷体是借此种“传施”至其中的能力才能够继续上升，以迄它消耗净尽，这才会落下。

布里丹大约在1320年代从方济各修士马基亚（Franciscus de Marchia）获知这新观念，在其启发下，他于所著《物理学问难》中提出，受掷物体是因为获得了“冲能”（*impetus*），所以能够继续上升。他详细讨论了“冲能”的具体作用：倘若没有其他力量（例如重力）的作用，那么具有冲能的物体会持续其原来的运动；冲能是由物体的“多少”和它的速度两者共同决定；在物体下坠时重力会不断增加其冲能，令之加速，等等。因此，他的“冲能”其实已经超出模糊的“传施能力”观念，而颇接近现代物理学的“动量”（momentum）或者“冲量”（impulse）②。他甚至还提出，旋转体有所谓“转动冲量”（这颇接近于所谓“角动量”angular momentum），认为众天体的运转就是由于此“转动冲量”而来，所以，既然没有外力阻挡其运转，那么它们的恒久运转就不需要所谓“不动之推动者”（Unmoved Mover）即神灵来维持。这样，上帝造完天地之后就可以休息了。除此之外，布里丹还在《论天地问难》中举出大量论证，认为所有天文现象都可以简单地用地球自旋来解释，而这不

---

① 见 Aristotle，*Physics* VIII. 4 & VIII. 5。

② 此处以“冲能”翻译“impetus”——那显然是古代“*virtus impressa*”一词之简缩。现代物理学观念中并无冲能或者“impetus”，但有“动量”（momentum）和“冲量”（impulse），前者定义为质量与速度的乘积，后者指力 F 在短暂时段 Δt 内的整体作用，定义为 $F\Delta t$。根据牛顿第二定律，冲量等于动量 p 在此时段之变化 Δp：$F\Delta t = \Delta p$。

会抵触任何观测事实——虽然最终他还是没有直接反对传统的地球不动观念。

布里丹向现代物理学方向迈进了一大步，这主要是在于抛弃了亚里士多德的“目的论”而改为以机械性的“冲能”来解释运动。非常可惜的是，他并没有适当数学工具来严格表述这些观念和想法，更没有作进一步推理，所以这些以自然语言表达的意念始终模糊不清，也包含内在矛盾。更可惜的是，他虽然身后名声显赫，他的学说也由学生在欧洲广为传播，其精义却得不到发扬，反而逐渐湮没不明和不断受到歪曲，以致两个多世纪之后，伽利略通过比萨大学的博纳米奇（Francesca Buonamici，卒于1603）而接触到此理论时，那已经不是其原意，因此必须再重复布里丹所已经走过的道路。显然，科学进步不但依赖少数天才发明和引领，同时也还决定于科学发现的传播，以及广泛的文化基础。也许，14 世纪欧洲的科学和文化基础还不够全面和扎实，所以布里丹要到 200 年后才真正得到知音吧。

主教数学家：奥雷姆

比布里丹晚一辈的自然哲学家之中，最著名的无疑是奥雷姆（Nicole Oresme，约 1320—1382）①。他是诺曼人，家世和早年生活不详，按年岁推断在巴黎进修应该是 1340 年代，因此是布里丹的学生，他的著作也颇受后者影响。从大学记录可知他在 1348 年文科毕业，1355 年神学毕业，翌年出任纳瓦尔学院（Narvarre College）院长。他大约在此前后和法国王储即尚未登基的查理五世（Charles V）深相结交，其后在教会累累擢升，1364 年出任鲁昂（Rouen）座堂主事，1377 年晋升利雪（Lisieux）主教，以迄终老。他虽然担任外地教职多年，但大部分时间仍然留在巴黎。由于生活安定，所以著作等身，达到三十余种之多，除了各种《问难》和数

① 奥雷姆的生平和工作见 DSB/Oresme/Clagett；Boyer 1959，pp. 79 - 89；Grant 1981，Paper XV；至于他在星占术和炼金术方面的论述则在 Thorndike 1923 - 1958 iii 有三个专章讨论。

理论著以外，还有关于神学、炼金术者以及普及作品，至于星占术和魔法则是他激烈反对的。他在晚年还应法王要求，用八年时间（1369—1377）将亚里士多德的伦理、政治、经济著作以及《论天》翻译成法文，并且为作品评注——主教一职应该就是此工作的酬劳。

奥雷姆最重要的贡献是数学上的两个新发明。在《比例之比例》（*Proportiones proportionum*）一书中，他沿袭布拉沃丁的广义比例关系，进一步提出了“比例的分割”——也就是指数（exponent）的结合①。例如他将 $2/1=[(2/1)^{1/2}]^2$ 这关系表述为“$(2/1)^{1/2}$ 这个‘无理比例’是（2/1）这比例之半分”（在当时，数只能是整数，因此广义的数，例如分数和无理数都称为比例，这是个具有连续性的几何学观念）；或者 $(3/1)^{2/3}$ 是（3/1）的三分之二，等等。所以，他基本上已经发现了现代数学的指数结合关系，即 $x^a x^b=x^{a+b}$，以及 $(x^a)^b=x^{ab}$。他甚至还提到指数为无理数，即 $2^{\sqrt{2}}$ 那样的情况，并进一步宣称（但自然不可能证明），倘若将像（2/1）那样的“整比例”大量以不同方式分解为两部分，那么每一部分是无理数的可能性会非常之高。这相当于说，绝大部分的 n^a（n 为整数，$a<1$）是无理数。但令人意想不到的是，他还据此而论证，在天体运动中，天体相对位置绝对不可能毫厘不差地重复出现，然后据此驳斥星占术的理据、亚里士多德“宇宙无穷尽”的理论，乃至自然哲学可以发现精确定律的可能性！也就是说，最后成为主教的奥雷姆是以大量无理数所会产生的各种“不可测比性”来质疑自然哲学的精确性和可靠性，从而捍卫神意和神力的绝对权威。这是他和信仰同样坚定，但却倾向于自然哲学自足性的布里丹截然不相同之处②。

他另外一个重要数学贡献是继承摩尔顿学派，特别是邓布顿的工作，在《性质与运动图形论》（*Tractatus de configurationibus qualitatum et motuum*）一书中更系统和有规律地以图解来表示性质强度的变化，即“任何量化性

---

① 此书有下列英译本：Oresme/Grant 1966，该译本的导言对奥雷姆有简短论述，对此书背景（特别是其与布拉沃丁《速度比例论》之关系）、内容亦有详细讨论与分析。

② 有关布里丹和奥雷姆对于自然哲学与宗教之间关系的截然对立态度，见 Grant 1981，Paper XV。

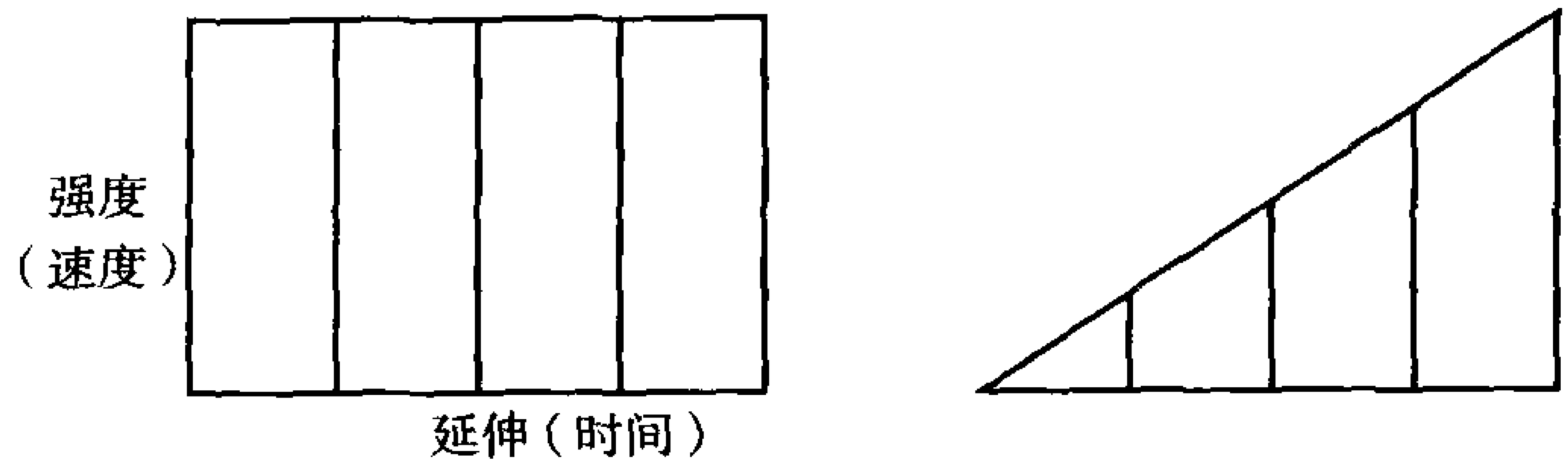


图 10.4 奥雷姆的“延伸”与“强度”相关变化图解。左图所示为均匀速度，右图所示为“均匀地不均”速度变化，即速度在等加速状况下的变化。

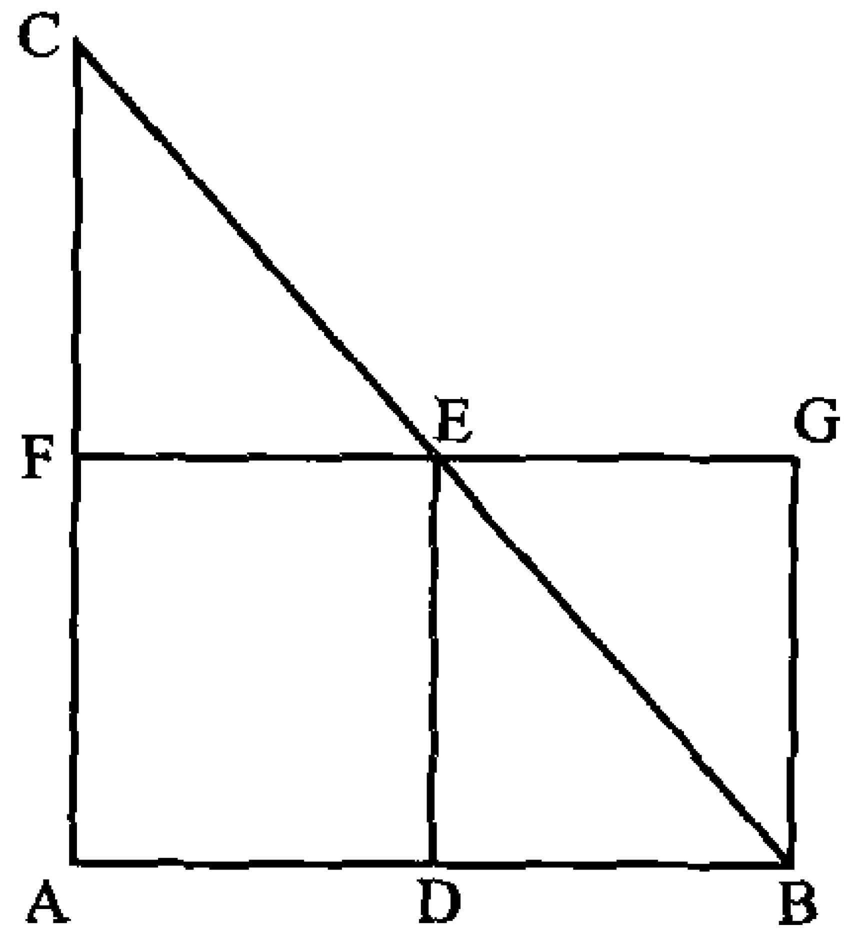


图 10.5 奥雷姆证明“平均速度定律”：横向为“延伸”即时间，纵向为“强度”即速度。倘若速度均匀地从 0 即 B 点增加至强度 AC 即 C 点，则在 BA 时段内所行经距离为三角形 ABC 之面积，此显与长方形 ABGF 之面积相等，其中 D 为 AB 之中点，因此 F 为 AC 之中点。但 ABGF 之面积为以平均速度 AF 在相同之 BA 时段所行经距离，故得定律。

质都可以对应于如下平面图形：图形垂直站立在性质的延伸线上面，它（每一点）的高度与性质的强度成比例”。例如，倘若速度是运动的性质强度，而时间是它的延伸线，那么就以正方形表示等速运动的速度分布，以直角三角形表示等加速运动的速度变化，等等（图 10.4）；他并且宣称，这些图形的面积就是运动体所经历的距离，虽然这没有，也不可能有严格证明。根据这一原则，他轻易证明了前述等加速运动的摩尔顿规则：因为与直角三角形等底线，并且与其底线中点等高的正方形，显然与该三角形等积（图 10.5）。

这一等加速规律的证明对于后世的影响非常深远，因为该论著在十四五世纪欧洲特别是意大利广为流传，在十五六世纪更印刷出版，所以伽利

略极有可能见到此书。他在《两种新科学》第三日讨论第二部分“自然加速运动”部分所提出来的第一条定理，就是上述平均速度定理，而且所用的论证和图解，也都与奥雷姆大体相同。从这一点看来，邓布顿和奥雷姆虽然比伽利略早250年，但后者的动力学无疑继承前者，是在他们工作的基础上发展出来的。那也就是说，欧洲中古与现代科学是一脉相承的，这在光学、解析学、动力学都是如此①。

除此之外，奥雷姆还有许多自然哲学方面的论述。例如他认为，倘若地球中心永远与宇宙中心重合，那么地球本身就需要不断移动，因为大气和地质运动会不断改变它的重心位置；地球的自旋和诸天的旋转不可能从观测现象分辨，而只能够以信仰决定，等等。更能够显示他预见能力的，是他似乎意识到，坠落体速度是随时间（而非距离）均匀增加；他甚至已经能够想象，倘若有直通地心的笔直管道，那么坠落体到达地心之后，它的“冲能”会使它继续前进越过地心，以迄冲能消耗完毕才又再往回坠落——这是现代力学教科书中的标准问题，而他所想象的情况是正确答案。不过，除了他的摩尔顿规律证明以外，奥雷姆的后世名声和影响远逊于他的老师布里丹，这恐怕和他中年以后离开大学讲坛，而且兴趣广泛，治学方向分散有关吧。

布拉沃丁、邓布顿、布里丹和奥雷姆是中古科学的殿军。他们的工作在当时没有能够引起科学上的重大变革，而且没有多久就因为黑死病和英法百年战争而中断，这是很可惜的。无论如何，他们所发展的动力学观念与方法已经接近现代：运动学（kinematics）分析法、函数观念、动量与惯性观念，等等，都已经出现或者具有雏形了，倘若不是由于强大外来因素的介入，现代科学提早两个世纪出现，似乎是颇有可能的。

---

① 此点论述见 Grant 1977，pp. 57－59；伽利略的等加速规律证明，见 Galileo/Crew & Salvio 1952，pp. 173－174。

附录：布拉沃丁的速度比例理论

亚里士多德在《物理学》中提出来的“比例规制”基本相当于：（A）移动者（即产生移动的力 F）和“动者”（mobile）（可以解释为该动体的重量 W）以及速度 V（等于移动距离 D 除以移动时间 T：$V = D/T$）成比例：$F \doteqdot WV$（$\doteqdot$ 表示成比例）。但亚里士多德跟着指出：（B）倘若 F 减半而 W 和 T 不改变，则移动距离 D 不一定照比例减半——它甚至可能是 0，亦即有关对象完全不能移动。例如，一个人完全不能拉动一只大船或者极重物体①。这被认为是由于“动者”有抗拒移动的阻力 R：倘若 $F < R$ 则物体不能移动。在此必须注意的是：R 代表重物抗拒移动的“内在”能力，而并非外在于该物体的其他力量，例如摩擦力或者水、空气等周围介质的阻力，因此在观念上这阻力和现代物理学中的“惯性”（inertia）很接近。

布拉沃丁所提出的中心问题是：上述观念（A）和（B）如何可以精确地以数学表达？他首先指出，根据亚氏本人在《论天》和《物理学》中的见解以及阿威罗伊的相关评述，速度与动力 F、阻力 R 之间的关系有下列三种可能方式：（1）$V \doteqdot F - R$；（2）$V \doteqdot (F - R)/R$；（3）$V \doteqdot F/R$。然而，这三者显然都是错误的：例如根据（1）或（2）F 和 V 不可能成比例，而根据（3）则 $F < R$ 时 V 仍然不会等于 0。事实上，亚里士多德所提出来的两个基本观念（A）和（B）根本就互相矛盾，因此要为它找到自洽的数学表述可以说是徒劳。

对于这难题，《速度比例论》的解决办法是：速度 V 的改变是根据算术比例，即它增加 2，3，4…N 倍时变为 2V，3V，4V，…，NV；但动力与阻力比值 F/R 的改变却是根据几何比例，即其增加 2，3，4…N 倍时变为 $(F/R)^2$，$(F/R)^3$，$(F/R)^4$，…，$(F/R)^N$。这样就可以得到下列“动力定律”：$V = V_0 \log_a (F/R)$，其中 $a = \log(F_0/R)$，V_0 是动力

① Aristotle, *Physics* 249b26 – 250a24.

为 F_0 时的速度。这定律的妙处在于它适合 F = R 时 V = 0 的要求，同时仍然可以说是在广义上维持了动力与速度之间的“比例关系”——不过，亚里士多德纯朴的本意自然早已经抛弃掉了。当然，布拉沃丁并没有听过指数函数或者对数函数，更不可能知道定律的上述现代形式，他只是以前面 V 和 F/R 的两个变化方式来进行论证的。其实，这种以算术比例与几何比例相应的思想并非布拉沃丁原创，而是伊斯兰哲学家和医学家金迪首先提出来：后者认为药物的疗效倘若要以算术比例改变，那么相反药性的比例便须以几何比例改变。与此相关的典籍不但在 12 世纪翻译成拉丁文，而且广为十三四世纪学者包括摩尔顿学院的学者所引用、讨论，所以布拉沃丁将之移用于运动学很自然。但这观念的数学化非常不容易，因为在当时比例的应用受到许多严格限制，他为此需要作大量基础性论证，这对于数学之最终能够突破古希腊藩篱是很重要的①。

---

① 见 DSB/Bradwardine/Murdoch，pp. 392 – 393。

第十一章 文艺复兴时期：酝酿与突破

对于欧洲来说，1543 年像是个纷乱黯淡的年头：文艺复兴高潮已过，宗教冲突正在加剧，神圣罗马皇帝与法王争战二十年犹未止息，奥图曼军队则以君临天下之势直捣匈牙利，横扫地中海。然而，就科学而言，这却是个神奇和决定性时刻：那一年哥白尼《天体运行论》和维萨里（Vesalius）《论人体结构》出版，翌年施蒂费尔（Stifel）《算术全书》付梓，两年后卡尔丹诺（Cardano）《大法》面世，这四部著作从根本上改变了天文学、医学和代数学面貌。虽然牛顿的大发现还远在一百四十多年之后，还需要好几代人的不懈努力，但突破已经出现，现代科学革命的历程已经启动。当然，能够感觉到，意识到这决定性时刻来临的只限于嗅觉特别灵敏的极少数学者，例如在 1560—1570 年到中欧游历、问学的丹麦贵族第谷（Tycho）和荷兰青年学子斯特文（Stevin）。他们日后回国都各自开拓了崭新科学领域，成为家喻户晓人物。但对绝大多数人来说，16 世纪则是个充满斗争、混乱、新奇事物与不可思议观念的时代，冲击神经的是哥伦布、马丁路德、罗耀拉、莫里斯亲王，也还有达芬奇、拉斐尔、伊拉斯谟和帕拉塞尔苏斯。对于当时社会、宗教、思想、学术的翻天覆地变化将伊于胡底，即使是高瞻远瞩的学者，恐怕也无从预测、想象吧。

一、普世主义的幻灭

结束中古欧洲和揭开其近代序幕的，是1453年的百年战争结束和君士坦丁堡陷落，但那只是表征，其背后的动力是火器的广泛应用以及奥图曼帝国之崛起。在此之后，推动欧洲前进和发生巨大变化的，主要是哥伦布发现新大陆和马丁路德发动宗教改革，而这两件大事的根源则分别与指南针和印刷术有密切关系。火药、罗盘与印刷术是培根（Francis Bacon）认为改变世界面貌的三大发明，它们都是由于蒙古西征而从中国传入欧洲的。因此，归根究底，欧洲之从中古进入近代，渊源可能就在于13—15世纪间来自蒙古铁骑和奥图曼战士的猛烈冲击。

战争造成的断层

最清楚地分隔欧洲中古和近代，也对中古科学造成最直接冲击的，是英法之间的百年战争（1337—1453）。它开始于封建领土和地位纷争，结束于以圣女贞德为象征的民族意识兴起。战争之初英军以“长弓”取得克雷西之役（Battle of Crecy）大捷，最后则以法军利用新兴火炮攻城掠地，将英军逐出诺曼底告终。百年战争和随后的“玫瑰战争”（1455—1485）摧毁了两国贵族势力和封建体制，为君主的高度中央集权铺平道路，近代政治模式由是出现。不过，战争带来政治整合，却也有高昂代价：兵连祸结和随之而来的饥荒、瘟疫对学术造成沉重打击。战争开始不久，英法两国的科学发展就出现断层：在布拉沃丁和奥雷姆之后两百年（1380—1570），作为中世纪科学中心的牛津和巴黎都衰落了，在此期间英法两国几乎没有再出现第一流科学家，科学领导地位很明显地转移到德国、意大利、荷兰等地区，也就是散布到全欧洲①。以笛卡儿和牛顿为表

---

① 准确地说，法国在15世纪末期还有舒克特（Chuquet），但他在当时甚至其后300年都无人知晓，在16世纪中后期也还有维艾特（Viéte），至于英国的哈里奥特（Harriot）已经是16世纪末人物，狄约翰（John Dee）的《数学序言》则出现于1570年。况且，这几位都是军事家、探险家、行动家多于学者。

征的英法辉煌时代之重临，已经是17世纪的事情。

此时在古老大学中亚里士多德思想模式仍然根深蒂固，但毕达哥拉斯、柏拉图思维已经行将冒起。另一方面，火炮成为主要武器在科学上有意想不到的后果：它激发了对于炮弹轨迹即弹道的研究，这很可能就是现代动力学的起点。延绵超过半个世纪（1494—1559）的所谓“意大利战争”在北意大利最为惨烈，而“弹道学”恰恰是在此期间和在此区域发展起来，这传统最有名的继承和发扬者就是伽利略。

福祸相倚：奥图曼帝国的崛起

但是，为什么会有新思潮，它又是以何种机缘出现的呢？说来吊诡，这是拜奥图曼帝国所赐。它的发源比百年战争爆发仅略早十年：当时帝国始祖奥斯曼（Osman）留给他长子的，只不过是小亚细亚半岛上一个塞尔柱土耳其小部族，但到14世纪中叶奥图曼战士（所谓*ghazi*）就已经渡过达达尼尔海峡，对君士坦丁堡采取包围之势。半个世纪之后苏丹穆罕默德二世（Mehmet II）率领大军以火炮轰毁君士坦丁堡城墙，结束东罗马帝国上千年历史，震动整个欧洲，这刚好是百年战争结束那一年。此后足足三个半世纪间，这东方帝国向欧洲步步进逼，席卷巴尔干半岛、希腊、北非，更两度兵临维也纳城下，一直要到17世纪末年的山塔之役（Battle of Zenta，1697）形势方才完全逆转，欧洲才可以松一口气。

然而，祸之所倚，焉知非福。在君士坦丁堡陷落之前半个世纪，东罗马帝国的希腊学者就已经感到来日大难，纷纷携同典籍移居邻近的意大利北部城邦。向来钦羡古都文物财富的这些城邦元老、执政不但欣然接纳，为他们开设讲席，更派遣专人往彼搜购珍贵典籍。这样，很自然地，从14世纪末开始意大利就掀起希腊热潮，它通过人文精神的发扬而影响文艺复兴，但其实在科学上也同样重要，因为它带来数学和天文学的复兴，同时也还导致魔法和炼金术热潮。这些都是本章要详细讨论的。

远航探险与开拓精神

奥图曼的进逼还有另外一个意想不到的后果，那就是堵塞了欧洲的东方贸易，迫使意大利和伊比利亚半岛上的航海国家向西另寻出路：葡萄牙"航海家"亨利亲王（Prince Henry，the Navigator，1394—1460）从1415年开始派遣小舰队沿非洲西海岸南下探险，寻找非洲黄金来源，经过三十多年探索终于到达塞内加尔（Senegal）河口并且建立据点，写下欧洲海外殖民史第一页。此后他们南下好望角，至终绕过非洲大陆抵达印度西岸和东印度群岛，那已经是众所熟悉的历史了。至于强大得多的西班牙则在1469年出现转折点，当时半岛上最大两个王国的君主缔婚，从而促成西班牙政治整合，为征服半岛上最后一个摩尔人据点格拉纳达（Granada）铺平道路。在庆祝伊比利亚半岛重光的欢腾气氛中，伊莎贝拉（Isabella I of Castile，1451—1504）慷慨批准热那亚人哥伦布西航的资助请求，由是而有新大陆的发现（1492）、墨西哥和秘鲁的征服、西班牙海外殖民帝国的建立，乃至麦哲伦（Ferdinand Magellan，1480—1521）的环航，等等，这也是大家耳熟能详的了。问题是，这一切和科学发展有关系吗？

远航必须应用科技：磁针和它的定向指示性质在12世纪传入欧洲，但罗盘则是15世纪中叶发明，这对于在茫茫大洋中测定方位自然是关键，它刚好赶上在哥伦布那样的壮举中发生作用；当然，此外他还必须依赖天文知识和大地是球体的整体观念，包括对其周长的估计，而这些也正是托勒密在其天文与地理学著作中详细讨论过的。新大陆的发现和统治为欧洲带来了不可思议的巨大财富，这散布于社会的额外资源为科学研究提供助力、动力，是可以想象的，甚至有学者以此为现代科学突破出现于欧洲而非伊斯兰世界的关键因素。但这是有争议的，也许更容易接纳的观点是：远航所发现的大量新奇事物冲击传统观念、理论，令人更尊重客观现象、事实，对新观念更为开放。这虽然好像只是猜测，但其实已经有学者作过详细论证了①。

---

① 以上两个观点的讨论分别见以下"总结"部分第三和第五节。

从东方来的礼物

最后，彻底改变欧洲，将它从中古带入近代的，还有其他同样重要的外部原因，那就是13世纪蒙古西征以及跨越欧亚的大蒙古帝国之建立。如史学家麦克尼尔（William McNeill）所考证，在寒冷干燥的欧亚大草原上不断往来奔驰的蒙古铁蹄为欧洲所带来的第一份礼物，就是其细菌源头可能远在云南与缅甸边境的黑死病，它迟至1346年才在克里米亚首次爆发，然后以不可阻挡之势横扫全欧，夺去其人口达30%—50%①。它和百年战争一样，都是分隔欧洲中古与近代的基本因素。然而，蒙古铁骑并不完全像《启示录》四骑士：他们所带来的，除了瘟疫和死亡以外还有无价厚礼，那就是大约在13世纪中叶传入欧洲的火药和印刷术②。火药的重要性在前面已经提到，印刷术的影响与之相比其实也不相上下。大量散播的德文《圣经》和论争小册子成为马丁路德发动宗教革命最重要的秘密武器，这是众所周知的；较少为人注意的是，在拉哲蒙坦那（Regiomontanus）手中，它也同样成为推广科学的最有力工具，这对于16世纪科学发展的巨大影响，可能远远超出想象③。

这样说来，归根究底，欧洲之所以会跨入近代，现代科学之所以会兴起，好像就都是蒙古西征和奥图曼崛起这两个外来冲击所产生的诸多因素间接造成。不过，这个看法难免要导致下列疑惑：为什么诸如火药、磁针、印刷术、希腊古籍等事物在中国和东罗马帝国犹如幽禁在瓶中而无所作为的巨灵，但到达西欧之后却像是忽然间获得释放，其庞大威力就顿时发挥无遗呢？因此，很显然，除了这些外来冲击的因素，现代科学背后也还有西方文明的传统与精神在起作用，这是绝不能够忽略的。

---

① 有关蒙古帝国与黑死病的关系，见McNeill 1976，Ch. 4，特别是pp. 140-152。

② 有关四大发明传入欧洲的简短讨论，见Rice 1970，pp. 1-18；关于火器如何改变欧洲军事与政治形态的研究，见麦克尼尔的专著McNeill 1984，特别是第2-3章；关于罗盘的发展，则见Crombie 1961，i，pp. 120-122，207-208；Zinner 1990，pp. 16-17 & 20。

③ 有关印刷术对欧洲文化影响的系统研究，见艾森斯坦的两卷本《印刷机作为变革动力》，即Eisenstein 1979；这方面较详细的讨论见本书“总结”部分第五节。

意大利战争与宗教改革

百年战争之后最先出现的国际冲突是法国、西班牙和奥地利三方面的“意大利战争”，它前后延绵达六十多年之久（1494—1559），教廷和英国也数度卷入其中，因此可以算是火器出现之后第一场全欧洲战争①。它后来演变为法国国王法兰西斯一世（Francis I，1515—1547）与神圣罗马皇帝查理五世（Charles V，1519—1556）之争雄。这两位君王之间以意大利为战场的激烈斗争是16世纪上半叶最令人瞩目的对抗，但由于双方整体力量大体相当，所以并没有产生决定性结果。

与意大利战争同时进行的，是查理即位之初就发生的宗教改革（Reformation），亦即所谓马丁路德（Martin Luther，1483—1546）革命，其中心思想是以圣经取代教皇、教会权威。这是罗马教廷500年来所遭遇最为严重的挑战，它能够以野火燎原之势席卷全欧洲，是与《圣经》被翻译成民族语言以及印刷术所带来的传播力量分不开的②。神圣罗马皇帝查理以维护正统自任，然而，由于德国处于高度分裂状况，他对扑灭这异端却束手无策。新教蔓延到法国之后蜕变为加尔文派，它也受到了残酷镇压，但当时法国还未曾完全统一，有众多半独立贵族和中央势力所不及的边区，因此新教仍然能够稳定发展。况且，不难想象，法兰西斯和查理两大天主教君主之间的战争为新教带来非常有利的发展空间。在此形势下，教廷全力推行所谓“反改革”运动（Counter-Reformation，1540—1566）。它的策略有两方面：对外严厉镇压新教徒和天主教的动摇分子、自由化分子，这以1542年重新开动“宗教审裁所”（Inquisition）机器为主；对内则力图推行革新，这以1540年批准成立的“耶稣会”（Society of Jesuits）为最精锐的传道和教育力量，并且通过前后三次“特伦特宗教大会”（Council of Trent，1545—

---

① 有关本节余下部分所讨论的16－17世纪欧洲政治史整体，汤普森有以下简洁流畅的演讲录：Thompson 1965，这是牛津教授所讲的“外国史”，所以需要以简明英国史补足，例如 Trevelyan 1986。

② 有关宗教改革的整体论述，见 Cameron 1991。Eisenstein 1979，i，Ch. 4 则专门讨论印刷术与马丁路德改革之关系。

1566）以求统一思想、发展策略和振奋人心。这运动为罗马教会注射了强心针，最少新教在意大利和西班牙被消灭，而且旧教更开始积极向海外寻求发展。

从战争中诞生的现代

但所有上述发展，其实都不过是为随后更激烈的冲突作准备而已。在16世纪下半叶，这冲突的焦点是荷兰对西班牙的独立战争。它起源于“低洼地区”（Netherlands）即今日荷兰与比利时，此地以工业、贸易为生，有自由与人文传统，而且由于城市化所以文化普及，因此出现了相当多新教徒①。然而其地领主是继承查理的西班牙君主腓力二世（Philip II，1527—1598），他是意志极其坚决的天主教捍卫者，要不惜任何代价将“宗教审裁所”推行于他治下的荷兰等地，激起当地人民在“沉默者威廉”（William the Silent，1533—1584）领导下联合起来争取独立，成立了以荷兰为主的“联合诸省共和国”（Republic of United Provinces，1581）。最终结果是，经过将近四十年战争（1567—1609）后，这有史以来第一个以民选为基础的共和国得以存活，并且在艰苦奋斗的刺激下发展成为海上霸权和贸易大国，西班牙则被迫承认失败。

不过，新旧教的冲突还不能就此结束，因为双方并没有达成长远协议，而且奥地利又产生了和腓力一样坚决不肯妥协的神圣罗马皇帝，即费迪南二世（Ferdinand II，1619—1637）。由是，以德国为主要战场，但荷兰、英、法、西班牙、瑞典、奥地利等也都相继卷入的欧洲宗教大战再起，这就是酷烈的三十年战争（1618—1648），它终于以签订划分新旧教界线的“威斯特伐利亚条约”（Treaty of Westphalia，1648）结束。这条约为欧洲宗教战争画上句号，但在这场浩劫中，德国和波希米亚人口消失了三分之二，至于其所受的整体摧残，特别是文化上的倒退，更是无

---

① 有关荷兰共和国的起源与历史，见下列巨著：Israel 1995。该书第79－82页论及城市化与较高文化程度使得新教的宣传品容易渗透；至于新教在低洼地区的早期整体发展，见同书Ch. 5。

可估计。

现代欧洲的起点

与荷兰独立战争差不多同时进行的，是法国内部新旧教徒之间的宗教战争。它以1560年召开的三等级议会和翌年的宗教议会（synod）为开端，其后经过八年苦战而出现和解，但这为血腥的圣巴多罗买节大屠杀（St. Bartholomew's Day Massacre，1572）所粉碎，跟着战事再起，直至二十多年后才由于亨利四世（Henry IV，1589—1610）继承王位，并且为了达成国家和解而毅然从新教改宗天主教而得以结束。亨利宽仁大度，富于才略，他即位之后颁布著名的“南特诏令”（Edict of Nantes，1598），对新教徒予以宽容，从而为全国赢得和解与稳定。在此基础上，17世纪之初为路易十三（Louis XIII，1610—1643）委以全权的首相黎塞留枢机主教（Cardinal Richelieu，1624—1642）方才得以励精图治，压制强藩，充实国库，扩展和巩固边疆，其后的路易十四也才得到施展雄才大略的舞台。

相比之下，与欧洲大陆隔海相望的英国好像比较幸运：由于亨利八世（Henry VIII，1509—1547）在16世纪之初已经断然和教廷决裂，另外自立英格兰教会，所以得以避免新旧教的直接冲突。其后继位的伊丽莎白一世（Elizabeth I，1558—1603）刚毅果断，广受民众爱戴，虽然旧教复辟企图和西班牙入侵的威胁始终存在，但在她的沉着应变下都得以化解。然而，到了17世纪中叶宗教冲突也仍然以清教徒革命（Puritan Revolution），国王查理一世（Charles I，1625—1649）被处死，以及同情天主教的查理二世（Charles II，1660—1685）复辟之形式出现。这样，一直要到荷兰的威廉三世（William III，1689—1702）通过光荣革命（1688）入主英国，大局才得以底定，英国的宗教归属以及君权和议会之间的关系这两大问题也得以解决。

但最不幸的无疑是西班牙。腓力在亲自建造的埃斯科里亚尔宫（Escorial Palace）埋首国政凡四十年，其信念是：“我宁愿失去国家和丧生百回，也不愿意在宗教上作任何妥协，因为我绝不容许治下有任何异端

分子。”[①] 果然，正如他所信誓旦旦的那样，西班牙在经过一个世纪徒劳无功的征伐异端之后，终于陷入民穷财竭，沉沦不能自拔的困境：它与科学革命、启蒙运动、工业革命都无缘，亦即为整个西方现代化过程所遗弃[②]。这样一直要等到三百多年后独裁者佛朗哥（Francisco Franco，1939—1975）去世，这最早领导欧洲走向新大陆和全世界的老大帝国才得以重获生机，再逐步返回现代欧洲怀抱，真所谓“再回头已百年身”了。

上述这一切和科学发展的关系是个复杂问题。西班牙的12世纪翻译运动以及16世纪海外探险精神都领先欧洲，它保守、严厉的宗教政策却窒碍了独立思想和探究精神，因此它对现代科学革命无甚建树。然而，饱受战争蹂躏和“反改革”运动压制的意大利却能够在数学和物理学上蓬勃发展；同样兵荒马乱的法国、荷兰和德国也仍然是科学名家辈出。也许，当时的科学探究只涉及少数个人，它的兴衰虽然难免受政治、宗教、战乱波及，但由家庭、大学、社区、教区所构成的“小环境”也同样甚至更为重要，而文化传统则是具有决定性影响力的因素。我们倘若想到安静小城中的座堂执事哥白尼如何在公余时间孜孜屹屹地建构新天文学理论，或者信奉新教的开普勒居然一度成为旧教捍卫者费迪南二世的宫廷数学家，就可以想见其中消息了。

二、意大利与中欧新气象

在罗马帝国早期，由于新毕达哥拉斯学派与新柏拉图学派的巨大影响，希腊哲学的传承以柏拉图为主，至于与亚历山大大帝关系密切的亚里士多德则隐而不彰。后来东罗马帝国对学园的影响力深怀疑忌而加以压制，这师徒二人之间的荣辱差异遂逐渐颠倒过来。伊斯兰世界奉亚里士多

---

① 这是他通过驻教廷大使传给教皇的话，转引自 Thompson 1965，p. 80。

② 西班牙没落原因颇为复杂，其根本在于长期与伊斯兰教徒对峙所导致的宗教观念僵化，以及由之而产生的种种不合理的民族和文化政策，但此外还有财政上的盲目，特别是缺乏理财能力，以及完全不了解大量美洲金银流入欧洲之后所产生的恶性通货膨胀之祸害。这些问题在 Lynch 1984，i 有详细讨论，特别见该书 pp. 129 - 142。

德为“哲学大宗师”（The Philosopher），影响所及，遂令他的哲学与目的论笼罩了中古哲学和科学发展，具有神秘主义色彩的柏拉图则不多为人提及，甚至《对话录》亦未曾被翻译成拉丁文。然而，这情况到15世纪中叶却又再发生微妙变化：奥图曼所间接导致的希腊文化热潮在北意大利升起，它与哥白尼的“地动说”、艺术与数学之结合、赫墨斯主义与“魔法”之蔚为潮流、炼金术的转向，以及数学的全面复兴等许多发展，都是密切相关的。但这股巨大的热潮主要是在大学以外发生作用——事实上，和一般预期刚好相反，在保守的大学体制以内，亚里士多德的学习和研究不但没有受到这热潮的冲击，反而更为蓬勃：例如，在十五六世纪期间，他作品的希腊原典研究开始盛行，而且其版本和印刷的数量也远远超过柏拉图。这情况主要是由两个原因造成：首先，大学课程和教师的知识结构有累积性和连带的巨大惰性；其次，亚里士多德的著作本来就是有条理和系统的讲稿，用作教材要远比犹如天马行空的柏拉图哲学对话适宜得多。因此，由希腊热潮所推动的所谓“文艺复兴科学”主要是在大学以外兴起，虽然大学本身（特别是北意大利大学）也受到感染而出现某种程度的变化。但整体而言，除了少数的显著例外，从15以至17世纪之间，新科学思潮都是在大学以外酝酿的①。

希腊热潮的冲击

所谓“希腊热潮”，根源其实远在14世纪之初：当时奥图曼这强悍的土耳其部落迅速壮大，征服拜占庭帝国在小亚细亚的绝大部分领土，更由于卷入帝国内争，得以越过鞑靼尼尔海峡，进军色雷斯、马其顿、巴尔干半岛乃至希腊，君士坦丁堡不旋踵就被包围，变为其势力范围内的“飞地”（enclave），只不过倚赖天险和深沟高垒暂时自保而已。在此风雨

① 有关亚里士多德研习在文艺复兴时代的蓬勃是最近数十年方才为学者认识的，这以兰道尔（Herman Randall）的《帕多瓦学派与现代科学的出现》最早著先鞭，见 Randall 1961（此书其实写成于1940）；此外史密特（Charles B. Schmitt）在80年代有三本这方面的论文集，即 Schmitt 1981，1984，1989；最近的讨论见 Luca Bianchi，“Continuity and Change in the Aristotelian Tradition”，in Hankins 2007，pp. 49 - 71。

飘摇的情况下，拜占庭皇帝约翰五世于1366—1371年间先后赴匈牙利、罗马、威尼斯乞援，但一无所得，他随即就沦为奥图曼苏丹的附庸，其后甚至被迫奉驾出征，帝国显然已经朝不保夕了。不料此时帖木儿兴起于中亚，1402年击溃和俘虏奥图曼苏丹，这样帝国才又得以苟延残喘。但说来奇妙，这风雨飘摇的大半个世纪（1370—1453）却成为垂死帝国以其文化灌注于西欧的契机：当时往来讲学、翻译、搜购典籍的拉丁与希腊学者络绎于途，西方大学因而对古希腊文化逐渐发生兴趣。1397年克拉苏罗拉斯（Manuel Chrysoloras，约1355—1415）被礼聘为佛罗伦萨大学的希腊文讲座教授，造就了一批对希腊文化有兴趣和修养的拉丁学者，由是触发西欧的希腊热潮。另一方面，奥图曼在15世纪20年代渡过危机，重新加紧围困君士坦丁堡。在此存亡关头，拜占庭皇帝约翰八世（John VIII Palaeologus）于1437年底再度携同庞大使节团亲赴意大利出席在费拉拉（Ferrara）和佛罗伦萨召开的宗教大会，讨论希腊东正教和罗马天主教合并的大事，以谋修好，挽救帝国命运①。合并虽然不成功，使节团中的柏拉同（Gemistos Plethon，1355—1452）和贝沙理安（Basilius Bessarion，1403—1472）却对西欧发生了意想不到的巨大影响。

柏拉同是极为奇特的学者②。他生于君士坦丁堡，出身望族，自幼颖悟，除了在正规学堂进修以外，还可能得到希腊化犹太学者伊利沙（Elissaeus）私人传授，因而热爱柏拉图哲学，并且深受新柏拉图学说特别是普洛克鲁斯影响，又对于《迦勒底神谕》和琐罗亚斯德极感兴趣，曾经为前者作详细《评论》，所以思想上与基督教格格不入，甚至可以说是近乎异端。由于名望甚高，他并没有因此受迫害，只是被责令（甚至也可能是自愿）移居伯罗奔尼撒半岛南端的山城米斯特拉（Mistra），而

---

① 有关拜占庭帝国末期历史见 Ostrogorsky 1969，pp. 499－572，特别是 pp. 537－540。

② 柏拉同的传记 Woodhouse 1986 除附有柏拉同主要著作译文与提要之外，对14－15世纪东罗马帝国与意大利的文化气氛，包括对两者之间的关系有深入讨论。上述克拉苏罗拉斯受聘经过及影响见该书 pp. 120－123。

且在城中地位尊崇，有可能曾经出任最高法官之职①。他随皇帝赴意大利时已届八十三高龄，对于宗教会议殊不感兴趣，所以就在佛罗伦萨与当地学者交往论学，讲授柏拉图。当时拉丁世界能够接触到的柏拉图典籍十分稀少（见§9.2），所以这引起了强烈反响。显赫的梅第奇家族主人，同时也是城邦执政官的科西莫（Cosimo de Medici，1389—1464）亦亲自莅临听讲②。柏拉同在讲学之余，还著有《柏拉图与亚里士多德之差异》，极其压抑亚氏而崇扬柏拉图。后来柏拉同随皇帝东归，回到米斯特拉继续讲学，并仿效柏拉图撰《法律篇》，以作为治国方略上呈皇帝，在君士坦丁堡陷落前夕才以期颐高寿终天年。另一方面，科西莫聆听他的演讲之后深受感动，于是在15世纪60年代初期开设"新学园"（The New Academy），培养出像费齐诺（Ficino）那样才华横溢的学者，从而为柏拉图热潮埋下伏笔。

至于贝沙理安的影响则是在不同方向。他生于小亚细亚东北海岸的特拉比松（Trebizond），在君士坦丁堡受教育，弱冠之年参加修会，旋被派往伯罗奔尼撒问学于柏拉同（其实克拉苏罗拉斯也同样是柏拉同的学生）。他接受乃师的柏拉图主义，但认为柏、亚二氏相通之处仍多，因此主张调和两家学说。此外，他虽然同样热衷于弘扬和恢复古希腊文化，但显然比乃师更为踏实和平稳，更具有折冲樽俎和治理才能，因此在赴意大利之前被封立主教。他竭力推动两大教会的合并，此事失败后留居罗马，并且获得教皇深相信任，先后委以枢机主教和教廷特使重任，君士坦丁堡陷落后更受赠"东正教教宗"（Patriarch）的荣誉称号。他在欧洲多个城市都发挥了重要影响。首先，是在1450—1455年间出任教廷特使平抚长久为家族斗争所分裂的博洛尼亚，在此五年间，他宣扬希腊文化和提倡古典学术不遗余力，府邸中学者来往讲论不辍，俨然成为学宫；当时具有辉

---

① 事实上，到15世纪30年代，东罗马帝国已经为奥图曼帝国蚕食殆尽，所剩下的主要城市除君士坦丁堡以外就只有米斯特拉了。那是个繁盛的国际性城市，距离古代斯巴达遗址只数公里之遥。有关该城和柏拉同的早年事迹，见 Woodhouse 1986，pp. 4，17－31。

② 科西莫在1434－1464年间是佛罗伦萨执政官，享有近乎绝对政治权力。佛罗伦萨的梅第奇家族事迹，特别是他们与文艺复兴的关系，见下列专著：Brinton 1926，其中第五章是专门讨论科西莫的。

煌历史的博洛尼亚大学废堕已久，它的重建与复兴就是仰仗他的大力。其次，他在1460年受教皇委托赴维也纳组织对抗奥图曼帝国的联军，在彼认识了年轻的天文学家波尔巴赫与拉哲蒙坦那，并对他们的事业大力扶持，这两位后来都成为振兴欧洲天文学的关键人物。最后，为了同样的理由，他曾经两度赴威尼斯，因而与此城邦生出特别密切的关系，死后以个人大量的珍贵藏书相赠，由是对帕多瓦大学产生很大影响。日后博洛尼亚和帕多瓦两所大学分别在哥白尼和伽利略的事业中起了重要作用。因此，贝沙理安对中欧和意大利学术的促进之功是难以估量的①。

不过，在同时西来的希腊学者中也还有一位反面人物乔治特拉比松（George of Trebizond，1395—1484）。他出生于克里特岛，以娴熟希腊古典特别是亚里士多德哲学知名，大约在1430—1438年间到意大利，在三五年内就熟习拉丁文，成为文学和修辞学教授。不久之后，更见知于尼古拉五世（Nicholas V，1447—1455），成为这位以赞助希腊古典翻译和建立梵蒂冈图书馆知名的教宗之私人秘书。可惜他高傲妒才，翻译工作粗疏不实，又肆意攻击柏拉图（贝沙理安与拉哲蒙坦那对他加以指责就是为此），以至引起学者公愤，几乎被驱逐出意大利，最后在贫困中郁郁以终。

中欧大学的兴起

在中古，学术以巴黎和牛津为中心，中欧学者必须负笈求学。到近代，这状况彻底改变了，最明显的迹象是天文学革命出现于德国和波兰，代数学革命发轫于意大利。我们已经提到，英法学术传统的中断与百年战争有关，至于德、意学术之发展，却另有根源，那除了希腊学术热潮的冲击以外，主要就是得力于中欧大学的兴起②。

中欧历史从10世纪奥托大帝以至13世纪的腓特烈二世有两个基调：

① 有关柏拉同、克拉苏罗拉斯、贝沙理安和下文提到的费齐诺等人与柏拉图热潮的关系，尚见Hankins 2007，Ch. 5。

② 以下中欧各大学发展的状况，见Rashdall 1958，ii，pp. 211－260，289－294。

自西向东的征服、开拓，以及与教廷的斗争、较量，至于学术、文化则非所能顾及。这情况到14世纪发生了决定性变化：神圣罗马皇帝查理四世（Charles IV，1316—1378）本是波希米亚国王，年轻时曾经在巴黎求学，深为其学术文化气氛吸引，所以1346年登基后立刻依照巴黎大学模式设立布拉格大学，并即获得教皇正式批准，赋予它一切相关特权，主要是学位为全欧洲承认，以及师生只受大学本身管辖；教廷甚至违反一贯政策，允许它成立神学院；此外大学更得到王室和波希米亚教会资助建立学院，以吸引著名教授。这样，很自然地，它成为中欧学术中心，对波希米亚的声望和文化发展起了难以估量的作用。查理头脑缜密，眼光远大，而且能够记取前车之鉴，始终小心和教廷保持良好关系，因此不但在1355年当选和加冕为神圣罗马皇帝，翌年更顺利发布著名的“金色诏令”（Golden Bull），明文和严格规定神圣罗马皇帝的选举规则，自此德国政治得以完全摆脱教皇干涉和纠缠。但当然，这同时也就意味完全放弃德国内部整合以及德意两国合并的可能性了①。

查理的雄图惹起了奥地利大公爵鲁道夫四世（Rudolph IV，1339—1365）的关注和反应。他在1365年设立维也纳大学，并且迅即获得教皇批准赋予特权。但天不假年，他自己随即去世，奥地利跟着发生内战，大学因而陷入休眠状态，直至14世纪80年代方才由于政权复归统一而有起色。其后它的迅速发展却是由巴黎与布拉格的灾难所造成。首先，在教廷的大分裂（Great Schism，1378—1417）中，巴黎大学著名神学教授和天文学家朗根斯坦（Henry of Langenstein，1325—1397）由于与法国教皇对立而离去，两年后（1385）受邀赴维也纳任教，他迅即凭其声望吸引了大批相熟教授前来。此时布拉格大学以开放和国际视野著称，其学生四个“国族”（nation）中波希米亚不过只占其一，所以其地位、名声远远超过维也纳。然而，胡斯运动（Hussite Movement）令它陡然产生强烈的民族情绪，这导致国王在1409年断然下令剥夺大学中其他族群的投票权并撤换德国籍校长。结果是，绝大部分德国师生在一夜之间星散，转投科隆、

① 有关德国政治形态的这一基本转变，见 Barraclough 1984，pp. 314 – 319。

海德堡、爱尔福特（Erfurt）等新近成立的德国大学，其中相当一部分更接受图林根（Thuringia）地方伯爵邀请，到莱比锡（Leipzig）开办大学。布拉格自此衰落，成为捷克的地区性大学，而维也纳则趁机跃升为中欧学术中心。

最后，我们还要提到波兰的克拉科夫（Cracow）大学。它和维也纳大学一样，同在1365年成立，其始也同样有名无实。二十年后，波兰女王与立陶宛君主雅盖隆（Jagellon）为了共同对付条顿武士团（Teutonic Knights）而缔婚，两国达成合并，雅盖隆改称符拉迪斯劳二世（Vladislaus II, 1386—1434）。他励精图治，在1400年重新为此大学发布宪章，除了赋予各种传统特权以外，更以王室力量建立学院，并且从各地教会收入中拨款支付教授薪金，大学因而蓬勃发展起来，成为东欧特别是波兰和匈牙利的学术中心。它为数学和天文学设立了两个讲座教席，因此在这方面特别发达，吸引大量德国学生就学。

所以，统而言之，中欧大学的崛起是14世纪下半叶的事情，但方式与博洛尼亚、巴黎、牛津等早期大学有基本差别，即它们并非自然形成，而是由君主推动成立，然后提供大量资源促进其发展。换而言之，高等教育需要国家政策支持这一现代观念已经出现了。

三、奠基的三代天文学家

古代天文学的中心问题是寻找解释天体运行的基本理论，所有其他工作都环绕此问题展开，因此真正的新发现必然意味基本理论之改变，而那是极其困难的。在《大汇编》出现后一千三百年间，虽然有大量天文观测以及对这基本理论的讨论、质疑和改进，但都说不上有真正新发现。《天体运行论》之所以那么特别，就在于它作了一个崭新的开始，而哥白尼之所以能够提出这大胆的新理论，则是由于他背后有深厚的学术背景，包括14世纪下半叶的中欧大学发展，以及15世纪三代维也纳天文学家之努力。这背景非常之重要，因为12—14世纪的“中古天文学家虽然极其重视《大汇编》，但很少仔细研究它。它的传世抄本之稀罕，说明大部分

天文学家不但没有家藏，甚至在图书馆亦不可得”。① 换而言之，当时的学术为亚里士多德哲学笼罩，引领风骚的学者即使在观念上承认数学重要，实际上却并不潜心研习高深数学和天文学，故而欧洲天文学始终滞留在初等水平。但《天体运行论》的数学模型大体上仍然依循《大汇编》，因此它出现的先决条件是真正和彻底了解《大汇编》，而这奠基工作却一直要到15世纪才由三位维也纳天文学家完成。

维也纳的天文学

开创维也纳学术传统的朗根斯坦不但是神学家，也有天文学根底，他作过多次天文观测，并且留下星盘论文。但真正在此地建立天文学传统，并且被尊为专家的，则是格蒙登（Johann of Gmunden，1380/1384—1442）②。他说不上有什么发现或者贡献，却是一位勤恳笃实的教师和学者，在维也纳大学任教前后三十余年之久，除了教授13世纪传统初级课本即萨克罗博斯科的《论球面》和康帕纳斯的《行星理论》以外，还作天文观测，绘制行星位置图表，编纂历书、星表，因此留下不少图书和星盘、象限仪等观测仪器给大学。他仍然沿袭中古习惯领受圣士提反座堂的教会职务，却已经不再教授、研究星占学，实际上是反对星占学的。

在格蒙登之后他的天文学工作为好些学生和有心朋友延续，例如修院主任梅斯丁格（Georg Müstinger）就是其中佼佼者。但对此影响更大的，可能是以慷慨赞助文艺和科学著名的奥地利大公爵，1452年加冕为神圣罗马皇帝的腓特烈三世（Frederick III，1415—1493）。他虽然性格柔弱，不喜驰骋疆场，因而颇受贵族侵犯和压迫，却能够凭着坚定信念和外交手腕维系帝国完整（甚至还扩张疆土），并且与教廷保持极其良好的关系。他喜好星占学，因而吸引不少天文学家到维也纳；和他同样有影响力的，是长期（1443—1455）出任宫廷机要秘书的皮科洛米尼（Aeneas Silvius Piccolomini，1405—1464），他在任期间大力提倡人文教育和古罗马文学，

---

① 有关《大汇编》在中古的状况，见 Pedersen 1974，pp. 16－19；文中的征引在 pp. 17－18。

② 有关格蒙登的事迹、工作以及下文所提到的罗盘，见 Zinner 1990，pp. 13－17，20。

随后在巴塞尔宗教大会显露才华，最后当选教皇，成为庇护二世（Pius II，1458—1464）。在他们政教两位领袖庇荫和培植下，维也纳大学蒸蒸日上是很自然的了。

英华早逝的《大汇编》专家

在格蒙登之后，维也纳出了波尔巴赫（Georg von Peuerbach，1423—1461）和拉哲蒙坦那这两位同时代学者，正是由于他们的努力，欧洲天文学水平得以大大提高，哥白尼的大发现也成为可能。波尔巴赫出身贫困，早年事迹不详，我们只知道他迟至23岁才进维也纳大学，因此未及直接受教于格蒙登[①]。他两年后毕业，但取得教授资格和开始任教则已经是年届而立，即1453年的事情了。他求学的漫长七年（1446—1453）处于柏拉同与贝沙理安到意大利与君士坦丁堡陷落之间，亦即是希腊古代典籍与学术思想对欧洲产生冲击的高峰。在此期间，他不但精研覃思，融会贯通托勒密的天文学系统以及伊斯兰学者所作的改进，而且曾经广泛游历，结识意大利最有名的天文学家，费拉拉大学教授比安奇尼（Giovanni Bianchini，1410—1449），并获邀到意大利任教。他1454年公开讲授行星理论，讲稿以清晰、严谨、条理分明和应用大量详细图解而名噪一时，因此广为学者抄传，但就其内容而论，则尚未超出古代和阿拉伯天文学的范围，只不过是经过了他本人的充分消化和重整而已。此讲稿在1472年由他的弟子拉哲蒙坦那以《新行星理论》（*Theoricae novae planetarum*）为名印刷出版，它迅即取代康帕纳斯的《行星理论》，而且在其后一百八十年间竟再版56次，并且翻译成法、意、希伯来等多种文字。

在商量旧学以外，他也同样致力于涵养新知。首先，在此时期（1430—1460）出现于德国的一个重要发明是盒装“罗盘”（compass，compassum），它基本上是在四方木盒子中结合了日晷和指南针的旅行计时和指向仪器：指南针用以决定当地方向，方向决定之后就可以用日晷决定时刻。到15世纪

① 波尔巴赫的生平和工作，见DSB/Peuerbach/Hellman and Swerdlow以及Zinner 1990，pp. 17－30。

50 年代这些罗盘更刻上“磁偏角”（magnetic declination），即正北方向和磁北极方向的夹角（这是就德国的地理位置而决定，即磁针方向离正南是偏西 10°），它当时称为“指数”（index）。这发明要到 15 世纪末才传到欧洲其他国家，例如为哥伦布的远航船只应用，但发现磁偏角有地域性变化，则是 1510 年的事情了①。波尔巴赫在 15 世纪 50 年代多次受委托制造“罗盘”，由此看来，这仪器和“磁偏角”很有可能分别是他的发明和发现，但这并没有直接证据。其次，1456 年哈雷彗星出现，颇为轰动一时，他花了相当工夫作仔细观测，而且还详细计算它的距离、尾巴长度，以及直径，这虽然是基于错误假设，却开这方面研究先河，其后拉哲蒙坦那和 16 世纪德国学者在这方面的工作都是承袭此传统。除此之外，他还多次详细观测月蚀，编纂过一部月蚀历表以及多种行星运行的历表。他在三角学以及测量学方面，特别是以东方传入的“正弦函数”（sine function）来替代传统“弦函数”（chord function），以及通过长度测量和“正切函数”的应用来反求角度这些问题上，也有开创性贡献。1460 年四五月间贝沙理安到维也纳，随即结识波尔巴赫，并邀请后者将烂熟于胸的《大汇编》作一《提要》（*Epitome*），即是附有评注的简译本。可惜天不假年，在不到一年后波尔巴赫便以 38 岁壮龄去世，临终时将这项只完成大约一半的工作留给与他情谊深厚的拉哲蒙坦那。

波尔巴赫才华焕发，他不但精擅天文、数学、仪器制造，而且，在皮科洛米尼影响下，对拉丁文学也颇感兴趣，所以在维也纳大学的讲授其实是以文学为主——事实上他还算是一位诗人。反而是在 1454 年以后所担任的匈牙利王室和神圣罗马皇帝宫廷的星占师职务，令他与天象的关系更为密切。无论如何，严格说来，欧洲能够完全了解古代和伊斯兰天文学，恐怕只能够从他算起，这时上距吉拉德已经足足三个世纪之久了！这比之从《几何原本》和《大汇编》最初翻译成阿拉伯文到巴坦尼完成巨著《天体运动》只不过百年，那差别实在太大了。如本节开头所说，这当是

---

① Zinner 1990，pp. 16－20。

由中古欧洲早期的学风为亚里士多德与经院哲学笼罩所致。

壮志未酬的拉哲蒙坦那

无独有偶，与波尔巴赫在师友之间，同样毕生致力于研究和传播天文学的拉哲蒙坦那（Johannes Regiomontanus，1436—1476）也是英华早逝，壮志未酬，令人惋惜①。他有“15 世纪德国最伟大天文学家”之称，1436 年出生于法兰根州（Franconia）的柯尼斯堡（Königsberg），原名米勒约翰（Johannes Müller），拉哲蒙坦那是他出生地的拉丁称呼，身后以此名风行②。他是早熟的天才，父亲是磨坊主人（Müller），家道殷实，因此 12 岁入莱比锡大学。但他当时的天文计算已经要比印刷出版的历表更为准确，所以觉得无从获益，故此在 14 岁转投维也纳大学，一两年后毕业，但格于规定，到 21 岁方才获得教授（master）资格。他于 1450 年到维也纳时波尔巴赫刚本科毕业，两人可能很快已经相结识，但成为师生当是后者在 1453 年取得教授资格之后的事情。波尔巴赫是影响拉哲蒙坦那一生工作和事业的良师益友，算起来两人相处、共事前后大约有十余年之久。

贝沙理安对拉哲蒙坦那也有深刻影响：他同样于 1460 年在维也纳认识这位年轻学者，翌年携同他一道返回罗马。在 1461—1465 年这四五年间拉哲蒙坦那跟随贝沙理安担任他的幕僚③，在优渥环境中研修希腊文，抄读阿基米德著作，潜心著述、讲学。在此期间他遵照波尔巴赫遗愿，完

---

① 拉哲蒙坦那的生平和工作见 DSB/Regiomontanus/Rosen 以及茨音纳的传记 Zinner 1990。此书资料丰富，考证详细，可视为一部 15 世纪中欧天文学史。它于 1938 年初版，1968 年再版，1990 年出版英译本，其后附有补充资料共 10 篇，大约百页，纠绳和补足了原书考证不足之处。

② 柯尼斯堡有两处，一在德国法兰根州班堡（Bamberg）市西北大约 30 公里，亦即拉哲蒙坦那出生的小镇；一在东普鲁士，是哲学家康德出生地和所居城市，今日已经划归俄国版图，并改名加里宁格勒（Kaliningrad）。德文的“Königsberg”是帝王山（König 和 berg）之意，这在拉丁文便是拉哲蒙坦那（Regio 和 monte）。

③ 当时的说法是成为他的“家属”（*familiar*），指介乎秘书、助手、随从学士之间的人物，所以这里泛用“幕僚”一词，虽然就拉哲蒙坦那而言，“随从学士”可能更为贴切，见 Zinner 1990，pp. 51 - 52。

成了《大汇编提要》（1462）。此"提要"是根据吉拉德《大汇编》拉丁译本所编纂的新著，其中颇多改进和简化原著之处，它可以视为欧洲学者真正透彻了解这本巨著的里程碑：哥白尼和伽利略都把它用作天文学课本就是最好的标志。他同时期的另一本重要著作是《三角学通论》（*De triangulis omnimodis*），这是欧洲在此领域第一本专著，后来通过雷蒂库斯（Rheticus）传给哥白尼，为他所仔细研习。在担任幕僚期间拉哲蒙坦那非常活跃，不但经常作天文观测，与许多学者保持通讯，而且于1463—1464年随贝沙理安赴威尼斯期间到帕多瓦大学讲授天文学，部分讲稿后来与法尔甘尼《天文学原理》和巴坦尼巨著《行星运动》两书译本在1537年一同结集出版。但可能因为太忙碌了，他多种计划中的著作和译著至终都未能完成。

在1465年拉哲蒙坦那似乎离开了贝沙理安，其后两年行踪没有留下任何痕迹，成为无法索解的谜团，甚至有人猜测他是返回本镇或者在修道院隐居。我们只知道1467年他应邀赴匈牙利，这应当与王室天文学家贝利卡（Martin Bylica of Olkusz，1433—1493）以及当时刚刚成立的普雷斯堡（Pressburg）① 大学开幕仪式有关。此后足足有四年之久他作为匈牙利国王马堤亚（Matthias Hunyadi，1458—1490）② 的上宾和星占顾问留在布达（Buda），专心作天文观测和编纂数表，包括以十进制记数的正弦和正切数表、恒星运动数表，以及和贝利卡合作计算的星占数表。其时他曾经坦白和清楚地告诉马堤亚，以当时天文学家的知识和能力，尚无法准确计

---

① 普雷斯堡为德语地名，即今斯洛伐克（Slovakia）首都布拉迪斯拉瓦（Bratislava）。

② 当时奥图曼帝国对欧洲步步进逼，匈牙利首当其冲，士绅阶层在危机感之中不顾传统，选出家世并不显赫但刚毅有胆识的匈雅提（Janos Hunyadi，1387－1456）为大都督，从而得以击破来犯的土军。匈雅提后来成为摄政，他死后，其长子却为政敌处死，激起全国义愤，幼子马堤亚因而得以在1458年当选为国王。他富有才华和感召力，不但建立强有力的新式军队，而且厉行体制和教育改革，创建普雷斯堡大学就是此运动的一部分。可惜匈牙利社会旧习气太深，改革始终无法深入。1490年他逝世之后，议会一致选出生性懦弱，遵循贵族意志的波希米亚国王符拉迪斯劳二世（Wladislaus II）为国君，最后匈牙利终不免亡于奥图曼最伟大君主苏莱曼大帝（Süleyman the Magnificent，1520－1566）之手，但这也是奥图曼向西扩张的极限了。

算行星的运行。

他在 1471 年回到离家乡不远的纽伦堡（Neuremberg）[①] 作长住久居计，并且将精力集中在两项长期工作，即是天文观测和出版科学著作，这在最初可能得到了马堤亚和他在纽伦堡的学生资助。其实，直到那时为止，欧洲的天文观测还很零散，继承托勒密和伊斯兰传统建立天文台，当以拉哲蒙坦那为第一人。他开设工场，招聘熟练技工，指导他们制造自己设计的星盘（astrolabe）、浑天仪（armillary sphere）、十字测天仪（Jacob's *staff*，长达五六米，具有多个视框和精确刻度的视张角测量器），还有所谓“托勒密量尺”（regula Ptolemaei，用以测量天体角高度的可调校直角三角测量器），等等。可惜这些仪器大都未能保存，他的原始观测记录也不知所踪，虽然我们知道在 1472—1475 年的三年期间他的观测没有间断。

除此之外，拉哲蒙坦那对当时刚刚兴起的印刷业也产生极大兴趣。他深感科学著作手抄本之稀罕、昂贵与谬误连篇，遂慨然以出版科学著作为己任。但由于这些书籍包含大量数字和图解（当时的线图都必须另外木刻，然后镶嵌到活字版中间去），所以校对和印刷工序极其繁复，并非一般商业印刷店所能够负担，因此他又开办印刷工场，亲自监督有关事务。这工场一共完成了九种出版物，其中最重要的是最先出版的波尔巴赫《新行星理论》（1472）和他自己编纂的庞大《星历》（1474）。这部《星历》列出了自 1475 年至 1506 年共三十二年间每一日的日、月与五大行星绝对位置，以及月的朔望和众天体之间的相对位置，还有斋祭节日，等等，其中包含的数字估计达 30 万之多。由于其用途广泛，价格廉宜，而且是唯一的印刷历表，此书甫出版即风行一时，不但为许多大学（包括哥白尼所在的克拉科夫大学）采用，而且多次再版。哥伦布西航时极可能也相携以俱，并且以其中所示的日蚀来测定所发现岛屿的经度。此外他在 1474 年印了一份“出版目录”分送各大学，其中所列除了已经印行者

---

① 当年以作为纳粹战犯审判地而知名的这个城市，如今改称纽恩堡（Nürnberg），它在柯尼斯堡东南约 80 公里。

外，还包括（A）计划中的29种科学著作，如《大汇编》、《几何原本》、施安的《大汇编评注》、阿基米德著作、维提罗和托勒密《光学》、阿波隆尼亚斯《圆锥曲线》，等等；（B）各种世界和地区地图；以及（C）他自己的22种著作。这庞大出版计划不太可能由他独力实现，但从中也多少可以窥见他的野心。

极其不幸的是，1475年拉哲蒙坦那应教皇传召放下手头大量工作前赴罗马参加历法改革，但不到一年之后突然身故，享年不及四十。有传说他是遭人下毒，但最可能的死因则是台伯河（Tiber River）泛滥而引发的瘟疫①。在身故之后，他辛辛苦苦建立起来的事业就烟消云散了——虽然他的弟子瓦尔特（Bernhard Walther of Memmingen）还忠心保存他的图书、仪器，并且继续有系统地作天文观测将近三十年之久。毫无疑问，拉哲蒙坦那为欧洲数学与天文学奠定了宽广的基础：不但哥白尼深受其影响，第谷和开普勒也都还应用他的天文数据。倘若天假以年，他的成就和影响当更要大得多吧。

四、哥白尼革命

在拉哲蒙坦那之后，欧洲天文学家已经能够掌握托勒密和巴坦尼的方法和理论了，但是跟着发生的事情却是个意想不到的突变，难以单纯从学术累积或者进步角度来解释。我们只知道，欧洲东北偏远的角落上一个普通小城里一位教堂执事，在默默工作十几年后，竟然敢于抛开《大汇编》一个最基本原则来创建新的天文学系统，至终完全改变了西方宇宙观念。这样令人惊讶、震撼的事情在伊斯兰天文学长达五百年的辉煌历史中却一直没有发生，那恐怕是难以用常理解释的。不过，我们将会看到，哥白尼的新系统绝大部分仍然建构在前人观念与理论基础上，所以其实还是介乎

① 下毒之说起源于他在“出版目录”中预告行将发表对乔治特拉比松（见上文）《大汇编评述》的猛烈批判，因而有人怀疑是特拉比松之子愤而出此下策。见 Zinner 1990, pp. 151－152。

中古与现代之间的产物。

平淡无奇的一生

哥白尼（Nicholas Copernicus，1473—1543）和托勒密一样，都是一生安稳平淡，没有突出事迹①。他出身德国裔家庭（当然，在德国与波兰史学家之间这颇有争议），祖父是波兰首都克拉科夫（Cracow）的有名商人，父亲在15世纪中叶迁往维斯图拉（Vistula）河下游兴旺的贸易河港托仑（Torun），母亲门当户对，出身当地商人望族。他10岁丧父，由舅父瓦臣罗德（Lucas Watzenrode）抚养成人，18岁（1491）进克拉科夫大学，大约三年后在文科毕业。当时瓦臣罗德已经升任西普鲁士瓦尔米亚（Varmia）教区主教，他在1497年为哥白尼求得该区弗劳恩堡（Frauenberg）座堂执事（canon）职位②，从而保证了这位外甥一生的安定。哥白尼跟着赴意大利求学，前后逗留六年（1497—1503）之久：前三年在博洛尼亚学习天文、法律、希腊文（所以后来能够直接研读古希腊科学典籍），并且取得文科教授资格；跟着往罗马参加1500年的千禧庆典并讲授数学；在短暂回到波兰之后，他转到帕多瓦学习医学，并且在费拉拉取得教会法博士学位，最后在而立之年回归弗劳恩堡担起执事职务，在那里度过一生。

当时克拉科夫大学以天文学和数学知名，显然哥白尼深受感染，以此为终身志业，其后在博洛尼亚和帕多瓦的六年游学自然更开拓了知识和见闻；至于研习法律和医学，以及最后回到宁静小城出任座堂执事，大抵只

---

① 有关哥白尼以及《天体运行论》最详细和深入的数理研究是施瓦罗与奈格包尔的《哥白尼〈天体运行论〉中的数理天文学》，即 Swerdlow and Neugebauer 1984，其《导论》部分（pp. 3 –95）对哥白尼所承受的欧洲和伊斯兰天文学传统以及《天体运行论》的撰写经过有详细探讨。此外罗森（E. Rosen）撰写了 DSB/Copernicus/Rosen，翻译了《天体运行论》，即 Copernicus/Rosen 1992（此书有叶式辉的中译本），并且编译了《简论》、《驳华纳函》和《初述》等三种文献，即 Copernicus/Rosen 1939；科雷和阿米蒂奇的专书亦论述周详，分别见 Koyré 1973，Pt. I 以及 Armitage 1957；哥白尼诞生500周年庆祝及研讨会论文集亦收入多篇有关重要文章，见 Gingerich 1975。

② 弗劳恩堡（Frauenberg）今日改称弗龙堡（Frombork），是在波罗的海东南角但泽湾岸边小城。

是听从性格坚毅的舅父为他所作生计安排而已。不过，从他日后的经历看，这的确令他得以完全免于奔波烦扰，全心投入天文学探究。返回弗劳恩堡之后，他曾经被舅父招至主教府担任私人医生和政治助理（1506—1512），回到座堂以后，又曾经短期出任独立的行政职务，更曾被邀出席拉特兰座堂宗教大会（Lateran Council，1514）协助历法改革，在专业上可说能够学以致用了。但他的大部分精力和时间，当还是花在天文学观测、研究和思考上。但有关这方面的资料非常稀缺，我们只知道他统共作过 63 次天文观测，其中小半数据用在著作当中；为此他在 1513 年建造了一个小观测塔，其中所应用的仪器只有三件：象限仪、浑天仪和用以准确测度天体仰角的三角仪（triquetum）①。在 1512—1514 年间，他完成了《简论》（*Commentariolus*），在其中初次提出"日心说"的革命性新构想，即日球为宇宙中心，地球每日有自转，每年有绕日的公转，外行星的"驻"和"逆行"都是起源于地球与它们相对运动的表观现象，等等。《简论》在亲近朋友、同行的小圈子里流传了将近二十年，这才慢慢地传到外界。至于将上述构想充分演绎、发挥出来的巨著《天体运行论》（*De Revolutionibus Orbium Coelestium*）则大约要到 16 世纪 30 年代中叶方才完成，到 1539 年哥白尼垂暮之年才初次出示予慕名来访的维腾堡（Wittenberg）大学年轻教授雷蒂库斯（Joachim Rheticus，1514—1576）。后者一见大为心折，即以弟子自居。他据此写信向纽伦堡大学的老师舍纳（Johann Schöner）作详尽报告，此信后来出版，就是所谓的《初述》（*Narratio primi*，1540）。这时哥白尼已经年近古稀，几经亲友劝说之后，他终于同意出版《天体运行论》，书成刚刚赶得及在他临终前送到。他的一生表面上平淡地应付人事，暗中则积蓄力量完成惊世大业。

回到旧原则重新开始

那么，在《天体运行论》之中，哥白尼到底做了些什么呢？主要是

---

① 这基本上是个木制的三角架，其中两边固定（这有一边垂直），上面有观测星点和刻度的第三边可以自由滑动。此仪器据说是哥白尼亲自手制，他死后保存了数十年，最后赠予第谷，但此后不知所终。见 Armitage 1957，pp. 54 - 56。

两件事情。首先，是明确地将日球是静止的宇宙中心，地球和其他行星一样，都是绕日运行，而月球则绕地球运行，作为一个基本原理提出来，这就是所谓“日心说”（heliocentric system）。而且，他虽然在多处将此原理称为假设、假定，却并没有接受朋友的好意劝告，以数学计算的假设来掩饰自己真正观点，却旗帜鲜明地将显然违背《圣经》观念的“地动说”作为基本原则和可证验事实。无论从科学或者宗教立场看，这显然都是极有勇气的做法。其次，从这新原则出发，他为众天体的运行建构了一个新模型，这模型完全抛弃托勒密的对等点（equant）机制，而彻底回到古希腊以“均匀圆周运动”来解释天体运动的途径。那也就是说，他不再应用托勒密“曲轴本轮”机制（见第七章附录），而是应用“本轮叠加”机制，即是在均轮上有本轮，第一本轮上再加上第二本轮，甚至其上还可以有第三本轮。他发现，把本轮叠加起来（这相当于以固定角速度旋转的向量之叠加）也可以得到与“曲轴本轮”相类似的效果，但这样却维持了“均匀圆周运动”的基本原则。不过，严格来说，这两个原则其实一点都不新：“均匀圆周运动”是古希腊天文学的固有理想，“地动说”则是公元前3世纪的阿里斯它喀斯所首先提出来。他所做的，实际上是重新回到古希腊的旧原则，然后依循托勒密的数理方法来建构相类模型，并且以实证数据来决定模型主要参数，然后仔细计算天体在运行中的长期位置变化。

那么，他这个新理论有何胜过托勒密旧说之处呢？很吊诡的是，单纯从计算和预测的角度看，新说并无优胜之处：《天体运行论》所计算的日月和行星运动比诸《大汇编》并非更为准确，而且前者所需要应用的本轮数目超过后者。也就是说，哥白尼的模型好像是更为复杂，但没有得到更精确的结果。这复杂性来自几个不同方面。首先，在日心模型中，所有从地球观察到的行星运动都是相对现象，即其计算必须兼顾天体运动和地球本身的运转，那自然就更为繁复了。其次，就固定的恒星而言，则出现另外一种困扰，即模型中的地球是绕日运转的，但恒星却没有显示任何视差，这表明它们的距离极其遥远——这在当时是难以为人接受的。最后，由于他拒绝使用“效率”更高的对等点机制，因此就要在模型中应用更多本轮。

既然如此，那么他提出“日心说”亦即“地动说”，究竟有何理据令人信服呢？这主要在于对许多天文现象“日心说”可以提供更为自然的解释。这其中最重要的是以下三方面：

（1）特殊现象问题：在“地心说”之中外行星（火星、木星、土星）有特殊的“留驻”和“逆行”现象，而内行星（水星和金星）则跟着日球运转，即三者的主轮周期相同，至于何以会如此，则并没有令人满意的解释。在“日心说”之中所有的行星包括地球都依照接近圆形的平滑轨道围绕日球运转，留驻和逆行很自然地表现为地球与外行星相对运动所产生的视觉现象。

（2）距离问题：在“地心说”之中各天体离地球的距离顺序无法确定，在“日心说”之中各大行星以及地球离日球的距离却可以很自然，不可更易地确定下来，而且它们的运行周期（亦即主轮周期）也初次得到完满解释：离日越远，周期就越长，没有例外。

（3）亮度和视直径问题：在托勒密模型中月球与地球之间距离经常有大变化，但观察所见的月球亮度和视张角并没有大变化，这重大矛盾托勒密本人已经注意到了，但哥白尼的“日心说”模型并没有这一问题。另一方面，在实际观测中，木星和土星的亮度有极大变化，这在“地心说”无从解释，但在“日心说”则可以很自然地用它们与地球之间距离的巨大变化加以解释。

统而言之，“日心说”比“地心说”的优胜是基于从多方面天文现象所得到的证据，比起所有这些证据的综合力量来，托勒密模型在行星位置计算方面仍然较为准确就不再是决定性理据了。哥白尼对自己的理论有坚定的信心，以及雷蒂库斯经过仔细研究之后对“日心说”深为折服，都是基于这个原因。而且，我们要强调，以上第（3）项问题的解释非常重要，因为它不仅仅是“自然”或者令人信服，而且是可以清楚地判别两个不同模型是否与自然现象符合的标准。换言之，哥白尼革命的意义不仅仅在于提出新原则与模型，而更在于扩大了判别理论真伪的实证基础。自此以往，令人信服的理论不仅需要在数学上“重现现象”（save the phenomenon）的某些方面（例如行星位置），还要能够对同一现象所

有其他方面都作出满意解释。因此，随着他的新理论出现，科学理论的判别标准乃至其本质也正在起变化。

突破从何而来

那么，哥白尼的新天文学到底是从何而来的呢？这其实有许多不同源头。当然，哥白尼是中欧学术传统培养出来的人物，而这是在牛津、巴黎以外发展出来，以维也纳天文学为中心的新传统。例如克拉科夫大学的著名数学家和天文学家布鲁丘乌（Albert Blar of Brudzewo，1445—1497）是查理大学（即布拉格大学）毕业生，所研习的就是波尔巴赫的《新行星理论》和拉哲蒙坦那的天文数表，亦即《星历》，这两部在15世纪70年代印刷出版的著作，其承受维也纳天文学传统非常明显。不过，布鲁丘乌在1490年以后就不再讲授天文学，1494年更离开克拉科夫大学从政，因此哥白尼在学期间（1491—1494）未必有机会在课堂上受教，但私下请益的机会可能仍多，直接或者间接受其影响是无疑的。更重要的是，此时科学著作出版逐渐盛行，除了上述两种早期出版物以外，波尔巴赫与拉哲蒙坦那合著的《大汇编提要》在1496年出版，这在《简论》之前六七年；吉拉德翻译的拉丁文本《大汇编》在1515年出版，比《天体运行论》早十几二十年。因此，这些第一代印刷出版的天文学书籍都为哥白尼的工作提供了扎实基础，其重要性绝对不容低估。当然，哥白尼的贡献并非发扬传统，而是创新，他新思想的源头就更广泛了。

首先，伊斯兰天文学对于哥白尼发生了重大影响，主要是通过其托勒密批判与修订。这最少有两个方面。第一方面是从天体运动的数学计算转向天体现象的实体（即表象背后的具体事物）探究，即海桑在《论世界构造》以及比特鲁吉在《天文学》中所仔细探究的天体球壳构造，这两本书都在13世纪翻译成拉丁文，而且发生广泛影响（§8.7），通用教科书《新行星理论》亦采用前者某些说法，它们之为哥白尼得见，并且将他导向天文学实体研究的观念与方向，是毋庸置疑的。

第二方面影响则在于天文模型建构。我们已经在§8.8提到，哥白尼在伊斯兰世界的前驱就是13世纪发明所谓“图西双轮”机制的马拉噶学

派创始者图西和 14 世纪大马士革天文学家沙提尔。沙提尔并没有提出“日心说”或者“地动说”，然而他的工作有两点是令人惊讶的。首先，他舍弃托勒密的“曲轴本轮”而回复到纯粹的“均轮—本轮”系统——事实上，是在本轮上再加一个或者两个本轮（即肯尼迪和罗拔斯所谓“向量连锁”）来达到和“曲轴本轮”相同的效果，而这也正是哥白尼的建构原则。其次，最为令人震惊的是：沙提尔和哥白尼的月球和水星模型，包括其“向量连锁”构造和所用参数，可以说是完全相同；至于他们所建构的其他三颗行星模型，大体上也相同。因此所有这方面的科学史家都认为，哥白尼的模型建构是得自上述伊斯兰学者的。

但这看法产生了一个问题：图西和沙提尔的理论虽然在中东广为人知，却并没有翻译成拉丁文或者其他欧洲语文，而哥白尼并不通阿拉伯文，更没有到过中东，那么他的行星运行模型怎么可能得之于比他早一个半世纪的沙提尔呢？他独立作出相同建构的可能性可以排除吗？这疑问现在已经大体得到解决了，其关键是：哥白尼通希腊文，并且曾经在罗马讲学，而奈格包尔在梵蒂冈图书馆中发现了描述图西双轮机制的拜占庭希腊文手稿（编号 Gr. 211），它至迟在 1475 年即哥白尼到罗马之前已经传入意大利；此外，图西在其中证明了双轮机制的《天文学论集》（*al-Tadhkira*）阿拉伯文手稿也早就已经在梵蒂冈发现（编号 Arabo 319）。我们甚至知道，将此手稿带到梵蒂冈的是一位传奇人物波斯特尔（Guillaume Postel，1510—1581），而且他带回来的还有另外一份存巴黎图书馆的阿拉伯文数理天文学手稿。波斯特尔精于东方语言，曾经随团出使君士坦丁堡（1536—1537），受委托搜购大量书籍，回国后在法兰西学院（College de France）的前身学校教授数学和语言学（1538—1542），著有多部作品，包括欧洲第一部阿拉伯文法。当然，他出使东方不会早于哥白尼完成巨著很多，因此他带回来的手稿在时间上可能来不及对《天体运行论》发生决定性影响。但他的经历以及沙理巴所举出的许多其他相类例子说明，在 15—16 世纪间，欧洲仍然深受伊斯兰文化影响，而且有不少人懂阿拉伯文，因此哥白尼从间接途径（例如希腊文手稿或者其他学

者转述）获悉图西和沙提尔著作详情是完全有可能的①。

哥白尼学说的另一个可能源头是中古欧洲，因为它的根本原则即“地动说”其实颇不乏先例：布里丹和奥雷姆就都已经指出，地球的自旋可以很简单地解释许多天文现象，而实际上到底是天旋还是地旋是无法分辨的（§10.8）；出生于15世纪之初的库萨（Cusa）也认为宇宙并没有固定中心或者周界，而地球是移动的（§11.8）。虽然哥白尼从来没有提到这些早期学说，但也可能曾经接触这些观点，并且受它们的影响。

至于为他所一再征引的古希腊学说，则肯定是获得突破的主要灵感来源。例如，在《天体运行论》前言即致教皇献词中，他就着意提到以下三个古希腊“地动说”的先例：费罗莱斯的宇宙模型，其核心是“中央火球”，地球围绕此火球旋转；赫拉克里德斯和厄番图的地球旋转说；以及阿里斯它喀斯的日为恒星之一，地球绕日周行说——不过，他很小心，从来没有提到阿里斯它喀斯的日为宇宙核心说。除此之外，他在该书第一章又特别征引西塞罗关于厄番图的论述，以及卡佩拉关于埃及“日心说”的论述。当然，他生于马丁路德宗教改革年代，对“地动说”可能引起的强烈反响颇为戒惧谨慎，生怕有人要“大叫大嚷”，“认为这是疯人呓语”而“宣称我（哥白尼）和这种信念都应当立刻被革除掉”②。因此，他强调是从古希腊学说得到灵感，颇有可能是为了寻求保护。

最后，哥白尼所处，正是希腊文化和柏拉图主义热潮高涨，贝沙理安、费齐诺（Ficino）、米兰多拉（Mirandola）等人引领风骚的时代（§11.6）。他在博洛尼亚求学的时候（1497—1500）与著名天文学教授，曾经师从拉哲蒙坦那的诺瓦拉（Domenico Maria di Novara，1454—1504）来往密切，不但协助他作天文观测，而且可能长期在他家中居住，日夕相与谈论各种学术文化问题。弱冠之年的哥白尼在思想上深受其影响——例

---

① 有关《天文学论集》的广泛影响，见 Tusi/Ragep 1993，pp. 55－58；对文艺复兴欧洲所受伊斯兰文化影响，见 Saliba 2007，Ch. 6 的详细讨论，关于文中所提及手稿，见 pp. 214－331。波斯特尔有下列传记：Bouwsma 1957。

② 哥白尼／叶式辉 2001，原序 1。

如研习希腊文，是非常自然的事情①。诺瓦拉本人不但是柏拉图主义信徒，而且是有独立见解的天文学家，他并不信服当时的天文学系统，认为应当回复到更简明的数学处理方法。从这个角度看来，哥白尼之所以想到回归厄番图和阿里斯它喀斯的地动思想，恐怕也有可能是受到诺瓦拉的触发，那当是他灵感的又一个源头了。

所以，与其说哥白尼是革命者，不如说他是博古通今而敏求之者。“哥白尼革命”虽然是现代科学革命的起点，却并非思想上的飞跃，严格地说，甚至也并非“革命”，而毋宁是“改弦易辙”和“拨乱反正”。换而言之，古希腊天文学本来就具有两条不同的思想轨辙，喜帕克斯和托勒密沿着“地心说”轨辙前进，并且发展了一整套数理天文学方法，它成为稳占上风一千八百年之久的正统。现在哥白尼所做的，则是回到古希腊原来起点，而且仍然沿用托勒密的数理方法，但改为依循“日心说”轨辙前进——甚至，在模型建构上，他也跟随沙提尔抛弃了对等点和“曲轴本轮”机制，回到柏拉图以圆形轨道为天体运动基础的思想。所以这是个“复古”和“转辙”过程，而并非一般意义的“革命”。当然，我们这样说，绝无意贬低哥白尼的巨大贡献，因为在传统重压之下，要重新为已经被否定将近两千年之久的旧说翻案，真所谓“万牛回首丘山重”，其艰难和所需要的眼光、勇气、毅力，比之翻陈出新的革命所需，肯定是不相轩轾的。

“地动说”在16世纪的命运

哥白尼对自己的发现抱有极为坚定信念，但他深知“地动说”是冒天下之大不韪，对于它在亚里士多德哲学家和神学家之间（更不要说教会）可能产生的风暴从未掉以轻心。然而，这风暴在整个16世纪却始终没有刮起来，那可能是因为当时“地动说”仅仅被视为专业天文学上的新发明，而它与传统宇宙观之间的深刻矛盾则被忽视，亦即“日心说”尚未在意大利广泛流传，所以未曾被教廷充分认识。无论如何，在1533

① 关于诺瓦拉的生平以及他和哥白尼的关系，见 DSB/Novara/Rosen 和 Armitage 1957，p. 50。

年教皇克里门七世（Clement VII）和其他教廷官员就已经在梵蒂冈花园中听到有关《简论》的演讲，而毫无不悦反应；1536年教皇驻波兰与普鲁士特使舍恩贝格枢机主教（Cardinal Nikolaus Schönberg）更写信催促（他本来就认识的）哥白尼将有关理论尽速发表，最少也以抄本见示，但素性谨慎的哥白尼却未作任何回应；而迟至1582年教皇格里高里十三世的历法改革也都还是根据哥白尼的新理论来推行①。

至于德国新教徒对"日心说"的态度则微妙得多。从《简论》阶段开始，马丁路德就已经知道这个理论，并且对它持鲜明和强烈反对态度。他在维腾堡大学的亲密战友梅兰希顿（Philipp Melanchthon，1497—1560）在读到雷蒂库斯的《初述》之后也视之为扰乱人心的悖论。然而当时新教还在草创阶段，它并不如罗马教会那样有严密组织和一整套法规、程序来统一、固定和管制思想，因此，不但"日心说"仍然得以在各德国大学，包括维腾堡大学本身自由传播，而且新教领袖的态度也逐渐发生改变。事实上梅兰希顿本人是聪慧早熟的天才，也是伟大的神学家、人文学者和教育家。他不但教学、著作不倦，而且大力推行教育改革和发展高等教育，所以在生前即被尊为"德意志导师"（Praeceptor Germaniae）。他后来对哥白尼的理论改成"一分为二"态度：地动原则视为假设，存而不论，至于他的行星理论，特别是月球运动理论则加以赞赏、鼓励，视为天文学上的重要新发明。

他的态度深深地影响了维腾堡的两位年轻天文学家莱浩（Erasmus Reinhold，1511—1553）和波瑟（Caspar Peucer，1525—1602）。当然，最早把新理论传到维腾堡的是雷蒂库斯，他崇拜哥白尼，以传道者的热忱来宣扬其学说。但他性格不稳定，不旋踵就离开维腾堡（1542），跟着到过纽伦堡、莱比锡等地，最后在克拉科夫定居（1554），因此在天文学界未能发挥影响力。莱浩则深为哥白尼的多本轮模型以及月模型所折服，但对革命性的"地动说"却完全保持中立。在他看来，依循哥白尼模型仔细计算行星运动，编纂天文数表是最有意义的当务之急，而

① Koyré 1973，pp. 27－28；Armitage 1957，pp. 60－61.

这也正是他所致力并且大获成功之处。梅兰希顿和莱浩的基本态度通过第三代传人，梅兰希顿的女婿波瑟而确定下来，成为德国教学体制的一部分。在这个体制中，本科程度天文学仍然以萨克罗博斯科的《论球面》为主，"地心说"的传统理据照样讲授，至于哥白尼则只会偶尔提及；到了专业水平亦即博士课程，则以波尔巴赫《新行星理论》为基本教材，而哥白尼的《天体运行论》和《大汇编》会作为高深理论一道介绍给学生，让他们对照参考。这就是所谓的"维腾堡模式"，它在16世纪下半叶影响整个德国天文学界（丹麦青年学者第谷就是在此气氛中成长），这可以说是哥白尼革命性学说为欧洲学界所逐步消化的过渡阶段①。至于哥白尼学说真正为欧洲学界接受，并且对传统观念以及教会产生巨大冲击，则是17世纪初伽利略以望远镜观察天体之后的事情了。

五、科学与艺术的互动

15世纪毕达哥拉斯—柏拉图热潮所推动的，并不止于秉承亚历山大传统的数理科学之复兴，而还有其他思想和所谓小传统。在今日看来，它们应该说是处于科学边缘，或者科学与其他领域之间的追求。但"正统科学"的观念在16世纪尚未形成，因此所有这些追求都是"自然哲学"的一部分，和数理科学并没有明显界线。在下面它们分为三节讨论，依次为科学与艺术的互动、魔法、炼金术。

从教会缺席到人的尊严

在上述其他各种思潮之中，最接近"正统"的，自然是艺术。意大利文艺复兴的艺术是西方文明瑰宝，它之所以能够绽放奇葩，一方面是得到古典人文主义滋养，这众所周知；另一方面却是与数学紧密结合所致，

---

① 有关此问题特别是"维腾堡模式"的讨论见下列专文：Rober S. Westman, "The Wittenberg Interpretation of the Copernican Theory", in Gingerich 1975, pp. 393 -457。

此则较少为人注意。而这两方面渊源都和希腊热潮分不开。

不过，除此之外，文艺复兴其实还有第三个渊源，因为它的萌芽可以一直追溯到13—14世纪间契马布埃（Giovanni Cimabue）和乔托（Giotto di Bondone）绘画风格之趋向写实，以及但丁（Dante Alighieri）、佩特拉克（Petrarch）、薄迦丘（Boccacio）等的文学风气丕变。这个微妙但重大转变是由教廷在14世纪之初迁往阿维尼翁，以及它其后的长期分裂、动荡造成的（§10.1）。它的声望和政治影响力自此一落千丈，这引发了更具体的长远后果，即是它因此也无形中放弃了意大利文化、艺术的主要赞助、评审、风气引领者的地位，意大利北部众多富庶城邦由是乘虚而入，在文学和艺术上自由发挥"市民文化"的影响力。以人文与现世价值为核心的文艺复兴运动之所以会于1300年前后在意大利出现，就是以此缘故[①]。所以，百年后柏拉图和赫墨斯热潮来临的时候，立刻就对此酝酿已久的运动产生巨大推波助澜的功效了。

透视法的发明

文艺复兴艺术最中心的思想、追求在于充分表达真实的人——即其体形、脸孔、肌肤、筋肉、举动和内心喜怒哀乐、思想、意念。为什么呢？因为正如米兰多拉在《人之尊严》一文中所说，人的自由、选择、可能性是无限的，通过"人"及其作为，就可以显示一切高贵、光荣、美好事物和意念（见下节）。米兰多拉与达芬奇同时代，他们的理想和雄心深深地吸引和激发了第一流心智和天才，赋予他们上帝般的创造力和使命感的自觉，从而促成十五六世纪间文艺复兴黄金时代之出现。但要真正表现人的尊贵、神圣，那就必须追求真实，而这有赖于数学的应用，由是导致了"透视法"（perspective）的发明。

15世纪之初的艺术理论家阿尔贝提（Leone Battista Alberti，1404—1472）在其奠基之作《画论》（*Della pittura*，1435）中为绘画方法提出了三个层次：基础性的，是数学层次即视觉光学和透视法；其次是描绘层

---

① 提出和详细论证这一观点的有以下专著：Holmes 1988，特别见 pp. 159－203。

次，即勾勒和色彩、明暗运用方法；最后是称为"istoria"的结构层次，即题材选择和构图的配合①。阿尔贝提本是建筑师和数学家，但他书中有关"视觉金字塔"（Visual Pyramid）的观念和透视法的讨论却并非原创。最早通过实际研究而发现透视法秘密的，是佛罗伦萨"拱顶"（Duomo）座堂的总建筑师布鲁内莱斯基（Filippo Brunelleschi，1377—1446）。为了清楚地解释自己对座堂的整体构想以说服赞助者，他需要准确无误地描绘目光所见景象，而研究方法是以座堂前已经建成的"洗礼堂"（Baptistry）为模仿对象，首先在镜子表面上描绘了其所显示的洗礼堂影像；然后以直接对照原景的方法，确定这样得到的画面准确无误；最后则通过数学，逐步精细分析画面中的线条，最后反求透视法的规律，亦即确定目像中地平线和消失点的方法。这是大约1420年的事情②。

布鲁内莱斯基和阿尔贝提把数学、科学和文学、宗教结合于艺术的思想深深地影响了整个文艺复兴时代。在阿尔贝提之后的法兰切斯卡（Piero della Francesca，1420—1492）是一位承先启后的大画家，同时也是数学家，著有《算论》（*Trattato d'Abaco*）、《透视法专论》（*De prospectiva pigendi*）、《论五种规则体》（*Libellus de Qinque Corporibus Regularibus*）等多种专书③。他不但把数学成果直接应用于其画作，而且深深影响其后的数学家和画家。自此文艺复兴艺术所追求的，就是在平面上重造三度空间视觉效果，而画家之所以能够获得那么逼真的视觉效果，绝非单纯倚靠直觉或者经验，而是通过根据数学原理所建立的规则④。甚至，对透视法的长期和仔细研究，特别是将空间每一点，都以三个"直交"坐

---

① 主要文艺复兴画家和理论家的详细传记见 Vasari/Bondanella and Bondanella 1991，原书出版于1550年，卷帙甚繁，此为现代节译本。至于《画论》一书则有下列现代英译本：Alberti/Spencer 1977。

② 文艺复兴时代其实有两种不同但相当（equivalent）的透视法并行，这方面历史的详细讨论见 Veltman 1986 以及该作者的相关网页"Piero della Francesca and the Two Methods of Renaissance Perspective"。

③ 见 Wood 2002，Ch. 6 - 9。

④ 文艺复兴时代艺术与空间观念的关系，特别是透视法之重要性，见 Panofsky 1972，pp. 118 - 133。

标固定的方法，曾经被认为是促成17世纪投影几何和解析几何出现的重要因素①，但这只是猜想而已，迄今未得到科学史家的普遍认同。

艺术家的自然哲学追求

透视法很快就传播开来，成为当时画家所掌握的秘密和基本方法，为15世纪中期涌现的“文艺复兴人”帕乔利（Pacioli）、达芬奇（Leonardo da Vinci，1452—1519）、丢勒（Abrecht Durer，1471—1528）、米开朗琪罗（Michelangelo，1475—1564）、拉斐尔（Raphael，1483—1520）等的工作打下牢固基础。如所周知，在他们之中达芬奇最为独特。他与数学家帕乔利深交，不但是画家和理论家，还是科学家、工程师、发明家；他的笔记本记录了大量具有创意和惊人预见能力的科技意念，他更勤奋和细心地做人体解剖，为此所作大量逼真绘图，是解剖学的瑰宝，也为所有建基于观察、描绘的早期自然科学——植物学、动物学、地质学等开先河。和他同世纪的阿尔贝提、丢勒等画家则致力于人体比例的测量、分析、统计，为人体测计学和统计学奠定基础。因此，在文艺复兴时代，艺术和科学可以说是水乳交融，携手前进的。艺术家对自然哲学的向往与认同有最为人熟知的象征，即拉斐尔名作“雅典学园”（1509—1511）：在高耸、宽广、庄严的殿堂中央，柏拉图和亚里士多德占据显著位置，哲人琐罗亚斯德、苏格拉底、毕达哥拉斯、欧几里德、托勒密等环绕周围，画面所显示的认真、专注、庄严、清朗、崇高，以及其所表达的信心、期望，正好是那个时代艺术家对于哲学与自身态度的写照（图版7）。

不过，艺术创造所需要的自由和冲动，毕竟和科学研究所要求的客观、冷静心态不一样，两者其实是属于不同气质，基于不同原则的追求。达芬奇笔记本中的意念之超前虽然令人震惊，却没有对科技做出实际贡献；甚至他的人体解剖图谱也没有影响维萨里（Andreas Vesalius，1514—

① Erwin Panofsky，“Artist，Scientist，Genius：Notes on the ‘Renaissance-Dammerung’”，in Farago 1999，pp. 19 - 80.

1564）的工作①。达芬奇提出，画家不应当盲目跟随、模仿自然，而要观察和理解自然，以得其奥妙；他甚至以干云豪气宣称，由此所得理解会超过从抽象文字与观念。但16世纪科学突破，恰恰就是以抽象数学来了解世界。艺术与科学的基本精神都是"求真"，因而不乏相通之处，但由于至终目标不相同，所以此真不同彼真，两者的发展因而"差以毫厘，谬以千里"。德国画家丢勒从1508年开始着手撰写一本数学及其艺术应用的巨著，但未能完成，却在1514年完成了著名的《忧郁》（*Melancholia I*）雕版画，其中年迈哲人坐在凌乱的沙漏、天平、圆规、木匠工具、圆球、多面体和幻方图中间托腮凝思，显得沮丧而无奈。这可能就是艺术家从热烈拥抱科学，寄以无限遐思，转变为对之感到幻灭、失望的象征吧？（图版8）到17世纪，科学反过来冲击艺术就连绵不断了：奇戈利（Lodovico Cigoli）《圣母升天图》（*Assumption of the Virgin*，1612）所描绘圣母脚下月球并非传统的皎洁光整月轮，却是伽利略从望远镜中所见的起伏不平，满布陨石坑的月球景象；荷兰画家弗米尔（Jan Vermeer，1632—1675）可能曾经利用暗箱（*Camera Obscura*）原理，在与画室相邻的暗室中直接描绘实景投影②。这和两百年前布鲁内莱斯基、阿尔贝提的做法异曲同工，但随着时代推移，利用科技作画已经变为需要隐瞒的秘密。到了19世纪，摄影术更导致印象派绘画兴起③，但那已经远远超出本书范围了。

六、柏拉图热潮与魔法

对神秘主义和魔幻法术的热情好像是沉睡在欧洲意识底层的巨人，从拜占庭吹来的希腊风，一下子就把它唤醒了。因此毕达哥拉斯—柏拉图—

---

① 维萨里的巨著《论人体结构》（*Humani Corporis Fabrica*）和《天体运行论》同时出版于1543年，这在达芬奇去世后二十余年。然而，至今还没有找到他受达芬奇直接影响的任何证据。有关达芬奇在自然观察及绘图方面的贡献，见Richter 1970；有关他在科学上并无实质贡献，见Randall 1961，pp. 119－121。

② 此事的详细讨论，见Steadman 2001。

③ 有关19－20世纪科学对艺术的巨大冲击，见Miller 2001，特别是Ch. 4－5。

赫墨斯思想对于天文学和艺术的影响虽然重要，但还是比较缓慢、间接，它对欧洲文化所产生最直接、最强烈的影响，反倒是刺激魔法与“本始神学”兴起，而毫不奇怪，这是从佛罗伦萨开始的。

佛罗伦萨新学园

在欧洲第一位真正充分发挥希腊热潮影响力的，是与拉哲蒙坦那同时的费齐诺（Marsilio Ficino，1433—1499）①。他是科西莫家族医生之子，亦是其所着意培养的青年才俊。他虽然秉承父业，但从弱冠开始就学习希腊文和文学。君士坦丁堡陷落后，科西莫派人前往大事搜购珍贵希腊典籍，它们运回佛罗伦萨之后其翻译工作遂落到费齐诺肩上，这成为他毕生志业，以及其对欧洲文化的最大贡献。他的拉丁文译著包括《赫墨斯经典》前15篇（1463）、柏拉图《对话录》全集（1467年译毕，1482年出版），以及主要新柏拉图派学者波菲利、艾安布理喀斯、普洛克鲁斯等等的著作。科西莫于1460年在市郊卡勒吉（Careggi）的别墅创办“新柏拉图学园”，召集热心学者商量旧学，祭拜先贤，发思古之幽情，费齐诺就顺理成章成为主持人②。这样，在亚里士多德“复兴”之后三百年，由于柏拉同、贝沙理安、科西莫和费齐诺的热诚与努力，柏拉图也“复活”了。然而，亚里士多德带来逻辑和经院哲学，柏拉图（其实更是新柏拉图主义）所带来的，则不但有数学和天文学，更有魔法（Magic）、赫墨斯信仰和复古运动，这是非常奇特、混杂，包罗万有的一个大口袋。

魔法与神学的结合：《辟加特力斯》

费齐诺不只是柏拉图学者，更是一位笃信赫墨斯教义（Hermeticism）

---

① 有关费齐诺的思想与学说，见 Yates 1964，Ch. 2，4 以及下列专门文集：Allen 1995；有关他与梅兰多拉的关系，以及其对医学、魔法、星占学的态度，见 Thorndike 1923 - 1958，iv，Ch. 63。除此之外，费齐诺的音乐观念以及其与奥菲士乐篇之关系，见 D. P. Walker 1975，Ch. 1。同书并详细讨论了他的魔法之根源。

② 这所谓“学园”，其实只是文人学士聚会讲论和纪念柏拉图的松散组织，而并非正式学术或者教育机构，见 Woodhouse 1986，pp. 155 - 157，p. 373。

和魔法的“魔法师”（Magus）——所以，在《赫墨斯经典》原本运到佛罗伦萨之后，他欣然遵从科西莫指示，搁下翻译中的柏拉图《对话录》，转而先行翻译前者，那是颇有象征意义的。除了译著以外，他自己在成熟时期还有一部医学著作《生命三书》（*De vita libri tres*，1489），其中一卷称为“捕捉星宿生命之书”（*Libre de vita coelitus comparanda*），那主要就是魔法书，它详细讨论了如何制造和应用“符偶”（talisman）——那据说是能够与行星相感应并且具有驱邪、降神功效的①。

费齐诺的魔法大概取材于魔法手抄秘籍《辟加特力斯》（*Picatrix*）。此书源流非常复杂：它是赫墨斯传统流传到阿拉伯，和当地驱邪魔术结合的产物，其后通过西班牙传入欧洲，大约在13—15世纪间翻译成拉丁文②。换而言之，它是毕派—柏拉图思想两度与东方宗教结合的结果：初度是在公元100—300年间与埃及宗教结合而产生赫墨斯思想；再度是在公元700—1100年间赫墨斯与阿拉伯魔法结合而产生《辟特加力斯》。所以，此书仍然包含大量灵智信仰，特别是从至高的“一”所衍生的神智—神灵—物质系列。然而，它同时又融合了巴比伦的星占术和阿拉伯的驱邪符偶魔法，而将可以上下于天界和凡间的神灵作为魔法的理性基础。那就是说，特殊制造的符偶可以感受和储藏来自上天星宿的灵气，故而具有神力。魔法的基本原则最好用费齐诺自己的话来说明：“‘自然魔法’（natural magic）利用自然事物来捕捉天体的有益与和善力量以带来健康，正如在医药和农耕上，那些合法地使用本身才能的人肯定可以应用这种操作方法……就像农夫翻整田地使它适应气候以为人带来饱足。这个智者，这个教士，为了人的安稳，也翻整宇宙间的卑下事物，使它适应更高等的……（自然魔法），令自然物料与自然原因正确地结合起来。”③

---

① 有关魔法与赫墨斯传统在15－16世纪的发展，经典之作是耶茨的《布鲁诺与赫墨斯传统》即 Yates 1964；此外桑达克的巨著 Thorndike 1923－1958 也提供了大量详细资料。有关《生命三书》见 Hankins 2007，Ch. 8。

② 有关此书论述，见 Thorndike 1923－1958，ii，Ch. 66。

③ 转引自 B. P. Copenhaver，“Natural magic，hermetism，and occultism in early modern science”，in Lindberg & Westman 1990，pp. 280－281。

魔法为什么居然能够在基督教的欧洲兴起和大行其道呢？这其实是罗马时代东方地方信仰大量渗透希腊—罗马文明过程的延续。在西罗马帝国灭亡后的五个世纪（500—1000）基督教逐渐取得政治和文化权威，但其初基督教仍然未曾普及，教会地位也尚未稳固，所以在其扩展和深化的漫长期间，各地方教会所必须面对的一个主要问题，便是以何种态度、方式来处理各种民间信仰与魔法（Magic）——这泛指所有操控超自然力量的方法、仪式、技术、行为。总的来说，他们被迫采取了相当有弹性的策略：一方面抗拒、排斥、压制；另一方面则“招纳收容”，将地方神祇与仪式吸纳到基督教圣者和神迹系统中来。

这个策略的后果是，最少在与地方宗教斗争的过程中，耶稣基督无形中成为至高无上“魔法师”，他施行神迹的能力被视为大魔法，而他的门徒和后代地方主教也都染上魔法师色彩。例如，《新约圣经》所载使徒彼得与魔法师西门（Simon Magus）比赛法力获胜的故事众所周知，因此彼得同样是魔法师，不过法力更大①。又例如，“圣餐礼”是七件“圣事”即日常举行的最重要仪式之一。它的核心便是神父“祝圣”令祭坛上的酒与面包“变质”为耶稣血肉，这显然具有超自然魔法的意味，而且教育低下的信众所了解的，正是如此。到了12世纪，罗马教会建立起至高无上权力，地方魔法开始受到严厉压制，因而转入地下，但它仍然未曾从一般人乃至教士、学者的意识中消失，更不会被视为无稽之谈。至于像星占学那样有悠久传统而又得到托勒密认可的学问，更为格罗斯泰特、大阿尔伯图等正统学者、教会领袖承认②。因此，从15世纪中叶以至17世纪之初的一百五十年间，欧洲思想再一次为魔法和赫墨斯主义所风靡是有深层根源的。当然，它此次再度盛行，是在天主教和数理科学、天文学都高度发展，新教则横空出世的时代。它之能够在多股强大力量的夹缝中冒起，并且深深感染许多第一流心灵，反映出它是如何根深蒂固，生命力是

---

① 见《新约圣经·使徒行传》8：9－24。其实，魔法师西门所领导的，是灵智教派之一支，它是基督教最早的异端。

② 有关欧洲中古魔法及其与基督教密不可分的本质关系，见 Thomas 1971，Ch. 2 以及 Flint 1991。

如何旺盛。

费齐诺所做的，基本上是为粗糙的地方迷信、方术披上理性外衣，把它们纳入高等宗教框架，从而避过教会审查，并证明魔法的正当性。这一策略的基本原则是建立在“本始神学”（*Prisca theologia*）的“道统”之上：即宣称摩西、三威赫墨斯、琐罗亚斯德、毕达哥拉斯、柏拉图、耶稣基督、早期教父、奥古斯丁等属于不同宗派、不同地位的“圣人”共同形成一个连续、先后相承的神学系统，这样就十分紧密和巧妙地把基督教和耶稣之前的那些哲学、宗教传统联系起来，纳入同一网络。这个策略之所以能够成功，是基于两点。首先，基督教和毕达哥拉斯—柏拉图思想的确有千丝万缕“血缘”关系；第二，在教会中具有极大权威的奥古斯丁接受了赫墨斯为与摩西同时或者仅仅稍后的远古人物——而在15—16世纪，“远古”和权威、可信性是紧密连结，甚至等同的。15世纪的“新魔法”和12—13世纪被压制的“旧魔法”、“低级魔法”，其基本分别便是在于赫墨斯所带来的光环和正当性。从这点看来，费齐诺放下手头的《对话录》而优先翻译刚刚运到的《赫墨斯经典》抄本，其意义便不言而喻。所以，在锡耶那的15世纪大教堂正门地板上，三威赫墨斯以圣人姿态出现，甚至摩西也得对他毕恭毕敬，也就不足为怪了（图版9）。

文艺复兴时期的魔法传承

费齐诺的传人是少年俊发的才子米兰多拉（Pico della Mirandola，1463—1494）①。他在弱冠之年一口气发表了九百条牵涉宗教、神学、各种知识，可以说无所不包的《论题》（*Theses*，1486），并且请求教会批准他据此举行“答辩大会”（Disputation）。这些论题中有二十二条关乎魔法，特别是他所最看重的“卡巴拉”（Kabbala，Cabala）——卡巴拉在12—13世纪兴起于西班牙和法国南部的普罗旺斯（Provence），是希腊化犹太人利用希伯来字母和数目字来施行的咒语魔法和占卜术，但同时也具

① 有关米兰多拉，见 Yates 1964，Ch. 5 以及 Thorndike 1923－1958，iv，Ch. 59；有关他之反对星占术，见 Thorndike 1923－1958，iv，Ch. 61。

有灵智教派的“灵界—尘世”和“衍生—回归”理性结构。此外，他还有十六条论题是以“毕达哥拉斯和他的数学”来作论证；他甚至把卡巴拉的数字魔法和毕氏的数目神秘主义联系起来。不过，米兰多拉虽然和乃师一样对于赫墨斯传统和魔法有热诚，却尊亚里士多德而反对新柏拉图主义，他又反对以星占来趋吉避凶（但这与星占术本身却有分别），而只认同表面上更为理性的卡巴拉。

他最大胆和激进之处，在于居然满怀自信地公开提出：魔法与卡巴拉可以证明耶稣基督为神，所以需要提倡；他又极力颂扬人的地位和尊严，认为通过施行魔法，人类可以获得神般的创造能力，因而也就可以恢复在伊甸园堕落之前的神性——当然，这是源自灵智主义的思想，是和基督教观念相抵触的。《论题》发表之后导致教会审查，以及若干论题遭受谴责。但他并不气馁，又在翌年发表《辩解》（*Apologia*），其中包括著名的《人之尊严》一文，他豪气干云地宣称：“让我们的心智充满神圣愿景，以使它不苟安于卑下，而渴望最高贵之事物，并且悉力以求，因为只要决意，我们就可得到。让我们遗弃尘俗，奋向穹苍；让我们抛开世事，越过凡人班次，直趋无上神灵的天庭，在彼炽天使、智天使、座天使位居上列。但我们却不甘退让，不能忍受屈居次座，而要与天使一争荣耀与尊严。我们既然已经下定决心，那么就绝不会屈于其下。”① 这引来教宗更为严厉的全面谴责，他因而出亡法国，最后还是由于梅第奇家族一力回护，这才得以回到佛罗伦萨幽居。虽然他以刚及而立之年英年早逝，但临终前两年得到新任教宗亚历山大六世为之全面翻案，魔法与卡巴拉的正当性亦得到承认，当可含笑九泉了。

更何况，他和费齐诺师徒二人的思想在下一世纪风靡一时，吸引了大量追随者。米兰多拉的卡巴拉传人是原籍瑞士的莱赫林（Johann Reuchlin，1455—1522），他是海德堡大学希伯来文教授和士瓦本（Swabia）邦外交官，也是上文提到的新教主要神学家、教育家梅兰希顿的叔祖。继承

① 作者译文，英文译文见 Mirandola 1998，p. 7。此文本来是准备在“答辩大会”上作为开场白宣读的，后来附在《辩解》中发表。

费齐诺和米兰多拉两人赫墨斯思想的，还有更年轻得多的神学教授阿格里帕（Henry Cornelius Agrippa，1486—1545）。他的传世之作是《隐秘法术的哲学》（*De Occulta Philosophia*，1533）。这是一本系统性魔法全书，在其中各个级别的天使成为精灵或者魔鬼的存在基础，而"魔法"的威力也发挥到极致。在这方面阿格里帕还有另外一位师傅，即斯班海姆（Sponheim）修道院院长特里希米（Johannes Trithemius），后者在《密码术》（*Steganographia*，1606）一书中，是很认真和实际地考虑，如何可以利用各级别天使以及卡巴拉计算法在瞬息之间和远方进行联系——似乎，他已经能够预见今日移动电话之流行了①！这位院长还另有一位名气比自己大得多的弟子，即是下文将要提到的帕拉塞尔苏斯。

行动派魔法师

费齐诺、米兰多拉、莱赫林、阿格里帕、特里希米都是书斋学者，但顾名思义，"魔法"不仅仅是思想和哲学，更是实际力量，是可以付诸行动，产生神奇效果的。事实上，到16世纪下半叶就颇有不乏把它这样认真看待的人物。例如英国的狄约翰（John Dee，1527—1608）就是坐言起行的赫墨斯信徒、炼金师和卡巴拉与占星魔法师。他曾经在16世纪70年代为比灵斯莱（Henry Billingsley）所出版的第一个《几何原本》英译本撰写一篇《数学序言》，从毕达哥拉斯学派与新柏拉图学派观点发挥数学作为宇宙原理的重要性以及其实用价值。此外他还娴熟远洋导航，大力为伊丽莎白女皇发展海外事业，像俄罗斯的北冰洋航道、北美圣罗伦萨航道，以及美国东岸，如今弗吉尼亚州一带的早期英国殖民地，都是在他主持下发展出来的②。

---

① 有关此段见 Yates 1964，Ch. 7－8。至于更详尽的资料，则见 Thorndike 1923－1958，iv，Ch. 60（罗伊希林与特里希米）；v，Ch. 8（阿格里帕）。

② 有关此传奇人物，见法兰区的《狄约翰：一位伊丽莎白时代魔法师的世界》即 French 1972；以及克鲁利的专著《狄约翰的自然哲学：在科学与宗教之间》，即 Clulee 1988。此书第四、五两章专门讨论16世纪中叶各种魔法与炼金术，第六章则讨论狄约翰的《数学序言》。有关此序言以及相关译本尚见 Harkness 2007，pp. 101－115。

但16世纪不但是远洋拓展世纪，更是宗教革命世纪。新旧教的冲突、斗争造成尖锐思想分裂和知识分子内心高度紧张——以及对宗教问题的全盘反省。在这混乱状况下，好些学者、教士企图以哲学性赫墨斯信仰来作为解决冲突途径，其中最有名的就是布鲁诺（Giordano Bruno，1548—1600）。他在一般人心目中是为“地动学说”牺牲在火刑架上的科学家，其实，他毋宁更是深信魔法的赫墨斯信徒和诚恳、激进的宗教家①。在1582年出版的《论思想的投影》（*De umbris idearum*，*On the Shadows of Ideas*）和《舒丝的咒语》（*Cantus Circaeus*，*Incantations of Circe*）这两本书中，他认为通过对基本星象的认识和记忆，可以改变人的思想、能力，从而改变历史进程。法王亨利三世对此颇为欣赏，他其后赴英国，在牛津讲学，似乎就负有法王秘命，企图修补英法两国在宗教上的分歧。他宣讲哥白尼的“日心说”即在此时，然而其出发点却并非数理天文学上的证据，而是费齐诺的太阳崇拜和星宿魔法。事实上，他比费齐诺、米兰多拉都更为激进：他根本脱掉了赫墨斯信仰的基督教外衣，而公开、径直地主张彻底改革基督教，回到古埃及的物偶崇拜②。他后来为宗教审裁所拘留八年之久，在1600年2月卒于火刑，其基本原因在于他的政治活动，特别是与信奉新教并主张宽容的法王亨利四世保持特殊关系，以及他的激进“宗教改革”思想；至于他之信服“日心说”，最多只不过是额外问题罢了。

在魔法与科学之间

从费齐诺到阿格里帕，从狄约翰到布鲁诺（约1460—1600），魔法的兴起和盛行可以说与近代科学发展是平行的。我们现在认为这两者泾渭分明，可以也必须严格划分，那是因为现代科学体系已经建立，从而使得这种划

---

① 关于布鲁诺，见 Yates 1964，特别是其后半部分，Ch. 11 - 20，这主要从赫墨斯信仰与魔法的角度来讨论他。但学者对布鲁诺亦有不同看法，认为他主要还是一位数理天文学家，见 Gatti 1999。

② 这基本上是他最重要著作 *Spaccio della bestia trionfante*（*Expulsion of the Triumphant Beast*）一书的思想，详见 Yates 1964，pp. 211 - 234 的论述。此书出版于1584年，到17世纪末影响复炽，成为美国和荷兰激进思想特别是共济会运动的渊源。见 Margaret Jacob 1981，特别是 pp. 35 - 47。

分成为可能。其实从中古以至17世纪，魔法师和科学家之间的界线并不明显。大阿尔伯图是“炼金师、星占师，相信施魅魔法（enchantment），像他那个时代多数学者一样，爱用超自然原因来解释所有令人惊讶的事物”，虽然他不认为魔法能够与基督教神迹相比，而且它有好、坏亦即“自然型”与“恶魔型”（demoniacal）之分①；罗杰培根对魔法所宣称的神奇能力表示怀疑，并且认为应用科学“胜过”魔法，但实际上仍然相信星象对人体的影响，以及特殊事物、咒语、恶毒思想的超自然魅力，因此他“在科学与魔法之间划界线的尝试是失败的，这显明……在他的时代这两个领域是如何纠合不可分割”②。

这种态度在14世纪开始发生转变。像奥雷姆就是从理性出发，很清楚，也相当坚决地反对星占术和魔法。他认为星象对人事之影响以及驱魔能力等等都很可疑，都没有清楚证据显示其确实存在，而且所谓证据往往是弄虚作假或者惊慌、神智不清所致；然而，作为巴黎大主教，他不可能质疑神迹或者恶魔之存在，同时，对于“自然魔法”也并不完全反对③。况且，他对于后世并无决定性影响：15世纪的格蒙登反对星占，但波尔巴赫则以星占为专业，甚至拉哲蒙坦那的《星历》也是因为星占需要而风行一时。16世纪的魔法与星占术也仍然与数理科学家有千丝万缕关系：上文提到了狄约翰和布鲁诺，但更重要的例子则是下文要讨论的卡尔丹诺：他是作出突破性发现的代数学家，却又是声蜚全欧洲的星占学家，曾经以星象推算耶稣基督命运，以此解释其一生事迹，并为这惊世骇俗的作为一度被打入宗教审裁所监狱。

既然如此，那么魔法、星占与近代科学革命是否有任何关系呢？对于科学史家而言，这本来似乎是无须讨论的问题。但将近半个世纪之前耶茨在《布鲁诺与赫墨斯传统》一书中提出了崭新的见解。她认为，科学革命之所以会发生，是因为背后有个巨大的思想运动，而要掀起这牵涉大量

① Thorndike 1923 - 1958，ii，pp. 548 - 592；转引文见 pp. 550 - 551。
② Thorndike 1923 - 1958，ii，pp. 658 - 678；引文见 p. 666。
③ 关于奥雷姆，桑达克用了整三章分别讨论他对星占术、魔法，以及自然异象的观点，见 Thorndike 1923 - 1958，iii，Ch. 25 - 27。

科学家，历时一个多世纪以上的运动，首先必须有急切了解现实世界、掌握世上神奇能力的意志与冲动，而只有“赫墨斯主义”所带来的兴奋、渴望和崭新心态，才足以产生这种强烈冲动。因此，魔法和科学虽然没有直接关系，但是它却能够“激发出走向真科学及其运作的意志”。最明显的证据就是：魔法热潮从费齐诺开始以至卡索邦结束（见§12.3）这前后一百五十年（1460—1610）刚好与科学革命的酝酿期相重合：阿格里帕“强调魔法师必须精于数学，因为数学可以……通过纯粹机械方式产生神奇功能”；狄约翰一生的事迹则正好为魔法激起科学探索意志的论点提供典型①。这观点乍听似乎颇为吊诡，而且它也尚未曾为科学史家普遍接受。但毫无疑问，它对于魔法在科学史上的地位和重要性导致了戏剧性转变：最少，赫墨斯思想与魔法和现代科学之出现有某种重要内在关联这一点，已经得到许多学者认同，甚至成为学界时尚了。

七、炼金术的转向

魔法有它的费齐诺、阿格里帕和布鲁诺，炼金术也在16世纪出了一位大名鼎鼎的传奇人物，那就是帕拉塞尔苏斯。他在世的时候好像只是个脾气急躁、穷困潦倒的游方郎中，谁也无法预料，在凄凉病殁二十年之后他时来运转，成为医药界红人，其理论、学说为人反复研讨，尘封手稿被相争出版②。萧伯纳说：“生使人站在同一水平线上，死使卓越的人露出头角来”，此之谓欤！

有自我毁灭倾向的医生

帕拉塞尔苏斯（Paracelsus，1493—1541）的祖父本是有名位的德国条

---

① 此论点的发挥见 Yates 1964，pp. 144 - 156，pp. 447 - 452；至于有关引文见 pp. 448 - 449，147。

② 有关帕拉塞尔苏斯的生平和工作见 DSB/Paracelsus/Pagel，以及其长篇通俗传记 Ball 2006；他的选著有 Paracelsus/Jacobi 1988。关于他的衡量和身后影响见以下论文集：Debus 1987。

顿武士将领，属邦巴斯特家族（Bombastus von Hohenheim），由于脾气暴躁卷入论争，因而被剥夺产业成为平民；父亲是私生子，后来移居瑞士小城艾恩西德尔（Einsiedelm）行医，母亲也出身低下，可能是附近寺院的奴仆。他自己本名 Theophrastus，帕拉塞尔苏斯是后来所取别名，却以此风行。他早年的事迹不容易追寻，我们大致知道他少年时代（1502—1507）在奥地利的矿业城市菲拉赫（Villach）度过，从 14 岁开始就按照当时的习惯独自外出游学，先后到过维也纳和维腾堡大学，获得本科学位，其间曾经向上文提到的特里希米问学，又曾经在矿场工作。此后他南下意大利习医（1512—1515），有可能在费拉拉大学获得行医资格，随后开始长达八年之久的漫游（1515—1523），南至地中海沿岸包括非洲，西至西班牙和英伦，北至丹麦、瑞典，东至俄罗斯和奥图曼帝国治下的希腊皆所遍历，其间曾经数度出任军医，并且得到君主优渥礼遇。在完成平生壮游回到菲拉赫的时候，他刚届而立之年，凭着在古典、矿冶、化学、魔法、医学等各方面的修养，以及丰富的经验，正是雄心勃勃，将要有一番作为。

当时马丁路德和茨温利（Ulrich Zwingli，1484—1531）的宗教改革风起云涌，各地情况异常混乱，这对帕拉塞尔苏斯既带来许多机缘，也造成不少困扰。他从 1524 年开始行医，其初在萨尔茨堡（Salzburg），后来因为卷入当时的宗教论争和农民战争而被迫仓皇离开；1527 年被请到巴塞尔（Basel）治愈了濒危的出版家弗罗本（Johannes Froben），又在其家中结识名重一时的人文学者伊拉斯谟（Erasmus，1469—1536）。由于这两位名人推介，他得以出任该城主任医师和大学医学教授，这无疑是即将踏上事业巅峰了。然而，他尚未上任就已经发布宣言，声称反对传统的盖伦和阿维森纳医学方法，又坚持用德文而不是拉丁文讲课，准许当时地位低下的“理发师—外科医生”听课，更当众焚毁一部阿维森纳的《医典》。这一连串向传统挑衅的举动引起了医学院同事的激烈反对和抵制。他虽然有强大政治后台，却无法控制自大情结和暴躁脾气，在短短一年后就由于弗罗本猝然去世和官司失败后冒犯法庭而再度被迫逃亡。此后十余年间他辗转流浪于德国和瑞士多个大小城市，行医、写作、做冶炼实验、发表独特的宗教见解，虽然医术精良，不时得到赞助、欣赏，但由于观念远远超越

时代，兼且性格率直、敏感、急躁（这显然和他的微贱出身以及祖父所遗传性格有关），始终难以避免卷入纷争和遭受抵制、压迫乃至驱逐，他的大量作品也绝少能够出版。他在1540年底受萨尔茨堡副主教邀请返回该城休养，当时虽然尚未及知命之年，却已经心力交瘁，衰颓不堪，翌年9月即溘然长逝。

炼金术和医学革命

帕拉塞尔苏斯是复杂、多面、充满矛盾的学者，一位“自然主义医生、性灵和象征主义思想家，以及充满宗教激情与爱心的斗士”①。他对炼金术有两个巨大贡献。首先，是打破传统执迷，为化学提出在“炼金”以外的新目标，即寻求治病药物，这已经颇为接近中国“炼丹”以求长生的思想。这新方向来自他医学上的两个新观念：第一，疾病并非如传统所说，是起于人体内部血、痰、胆汁、忧郁等四种体液失衡，而主要是外来物质亦即所谓“外邪”导致；第二，治病不能够仅仅依赖由动植物制成的方剂，而更需要应用从矿物质提炼出来的药物②。因此，他所要推动的炼金术革命，其实是和医学革命密切相关的。其次，他基本上接受金属二元合成说，却又在传统的硫磺和水银以外，增加“盐”作为物质的第三个基本元素，并且认为，这样所能够构成的，就不止于金属，而还包括其他矿物，乃至动植物和世上所有事物。这思想虽然并非他首创，却是由他明确提出来，最后得到普遍接受。

他的思想来源大概有两方面。第一，他曾经游历俄国、巴勒斯坦和奥图曼帝国，接触到许多东方观念和技术。例如，他的人体观和宇宙观讲究崇尚自然，顺从自然，而非对抗自然；他以经过冶炼的矿物入药；又认为人体脏腑各对应于不同天体，即肝对应木星、心对应日、脾对应土星、肺

---

① DSB/Paracelsus/Pagel, p. 306.

② 这个观念是传统思想的发展，而并非如表面所显示的那样，是激进的革命性改变，因为在当时的观念中，矿物也同样是有生长变化的，只不过这是在地球内部深处的高温环境下发生，而且需要很长时间，所以不容易观察到。事实上，炼金术就是要模仿或者重复这一自然过程。因此，当时并没有如今的矿物与生物的截然区分。

对应水星、胆对应火星、肾对应金星等①。这些观念很可能是直接或者间接得之于中医或者道家，特别是因为中医有五脏分属五行，即心属火、肝属木、脾属土、肺属金、肾属水之说，那和他上述的对应模式是相当接近的。第二，他显然也深受当时正在高涨的柏拉图主义与赫墨斯思想影响，故而抗拒亚里士多德和盖伦所代表的理性、逻辑，以及得之于经典的学问，而转向宗教、神秘主义和新观念，这当是他16世纪10年代游学意大利时深受希腊热潮影响所致。

帕拉塞尔苏斯生前小有名气，但受到守旧的医学界和城邦官员抵制，作品大多未能出版，手稿则散落各地。他去世后二十年，即1560年左右，其潜在影响开始发挥作用：在众多弟子、朋友、感恩病人和钦仰者推动下，他的作品陆续出版，有关他思想的讨论日益增加，1570年他的化学巨著《大智慧》（*Archidoxa*）出版，“帕拉塞尔苏斯热”也达到高潮。虽然反对与攻击的声音仍然不断，但到16世纪末他的地位已经不可动摇：帕拉塞尔苏斯全集在1589—1591年和1603—1605年间一再出版；1618年的《伦敦药典》（*London Pharmacopoeia*）更收入多种帕氏化学品，这无疑标志正统医学界已经接受和承认他的地位了。其实，16世纪下半叶是炼金术大事风行，相关书籍亦蓬勃出版的时期。如多布斯（B. J. T. Dobbs）所论证，这可能是由于宗教革命与天主教反改革运动的长期斗争，使得学者厌倦正统宗教及义理，他们因此纷纷转向费齐诺、米兰多拉、莱赫林、阿格里帕、帕拉塞尔苏斯等的非正统探索，以寻求心灵自由、慰藉和解脱②。因此，帕拉塞尔苏斯生前坎坷潦倒，身后备享荣名，恐怕和炼金术整体命运之转变也是分不开的。

八、数学的复兴

阿拉伯翻译运动几乎立即就触发了伊斯兰数学出现，中古欧洲却完全

① Ball 2006，pp. 242－243.

② 关于炼金术和宗教的关系及其对个别学者的影响，见 Dobbs 1975，pp. 48－62。

不一样。在阿德拉和吉拉德之后将近三百年间，欧洲数学几乎还是空白一片：格罗斯泰特和罗杰培根强调数学重要，却并不身体力行；布拉沃丁、邓布顿、奥雷姆等发展了数理研究新方向，但其精神、格局仍然属于经院哲学，并非对数学本身有所开拓、建树；费邦那奇独树一帜，却有如空谷足音，无人理会。这奇特现象无疑是由亚里士多德的巨大影响造成，而从根本上冲击、改变这种心态的，则是15世纪希腊热潮，这在本章开头已经说过了。不过，除此之外，也还有交互影响的其他因素。特别值得注意的是，数学复兴以意大利北部文艺复兴城邦如佛罗伦萨、博洛尼亚、帕多瓦、乌尔比诺（Urbino）等为发源地，这非常之重要①。它不但说明了上文所提到数学与文艺复兴艺术近乎“双胞胎”的亲密关系（§11.5），而且令人想到以威尼斯和比萨为前驱的海外远程贸易，这一方面带来北非阿拉伯人的影响，另一方面产生数学的实用需求，从而导致像吉拉德、费邦那奇那样大学者之出现，他们所留下的强大数学传统转而影响帕乔利和卡尔丹诺（Cardano）。此外，不能够忽略的重要因素还有印刷术之出现（威尼斯就是重要的印刷业中心）以及反映民族意识兴起的意大利文之应用，这对于数学知识传播有难以估量的推动之功。

具体而言，数学的复兴大致上也可以分为三个阶段。15世纪与16世纪之初是准备与转变阶段，在此时期出现的数学家如库萨（Cusa）和帕乔利仍然未有明确的发展方向，他们的重要性主要在于数学之提倡；此时期之末的舒克特（Chuquet）、里斯（Ries）、鲁道夫（Rudolph）等才开始转向未来的新方向，即代数学。16世纪上半叶是代数学之突破阶段，世纪下半叶则转向几何学发展——不过不再是古典几何，而是从几何学滋生出来的分析学。这三个阶段分别在本节和随后两节讨论②。

---

① 论证数学复兴与文艺复兴孪生关系最详细的是罗斯（Paul L. Rose）的《意大利之数学复兴：自佩特拉克至伽利略的人文学者与数学家研究》，即Rose 1975。此书以阐明个别学者的家世渊源和交游联络为主，对拉哲蒙坦那、哥白尼、卡尔丹诺、泰特利亚、可曼迪诺、圭多波度、伽利略等俱有论述，对了解16世纪意大利数学发展有极大价值。

② 文艺复兴时代数学除Rose 1975外，尚见Boyer 1985，Ch. 15，这主要是从数学整体发展而非个人背景、关系的角度出发，两书以及有关的DSB传记正好互相补充。

15 世纪数学

在 15 世纪前半时期，名气最大的数学家当推库萨（Nicholas of Cusa，1401—1464）①。他青年时代就学于帕多瓦，获得教会法博士学位，跟着出任科隆大学教授，其后以证明所谓“君士坦丁封赠书”（Constantine Donation）为伪造，以及重新发现普林尼《自然史》稿本而名噪一时。他在壮年投身教会，其后在巴塞尔宗教大会表现出色，遂扶摇直上，一直做到枢机主教（1448），更于 1437 年出使君士坦丁堡，促成东罗马皇帝翌年率领使节团西来商讨两大教会合并——此事的重大意义在上文（§11.2）已经讨论过了。库萨的著作颇多，但精神、意趣毋宁属于中古而非近代。数学上他对于“无限”、最大、最小等概念深感兴趣，以企图将圆转变为直线和解决古老“圆面积等方”问题而知名，又曾经提出“背反相合”（*coincidentia oppositorum*）原理，希望能够借此解决一切困难，例如在“无限”之中最大和最小可以等同。这反映了将经院哲学应用到数学上所引起的思想混乱。但他已经开始受到希腊风和新柏拉图理念的影响，不但是重新面对古代几何难题的第一人，而且更根据其“背反相合”原理，认为宇宙不可能有固定的中心，因此地球并非宇宙中心，也不是静止的。

比起库萨来，晚一辈的拉哲蒙坦那在数学上无疑有更重要、更切实的贡献。这主要表现于他的《三角学通论》和《方位数表》（*Tabulae directionum*）这两部计算数学的著作。前者共五卷，分别讨论基本原则与直角三角形、任意平面三角形、球面几何学，以及球面三角学（共两章），其中包含了平面和球面三角形的正弦定理。这是欧洲第一部独立于天文学的系统性三角学著作，而且首先以语句给出多项三角面积的方程式和以代数学方法解三角学问题。此书著成于 15 世纪 60 年代，但由于拉哲蒙坦那的猝逝，其初只是以稿本流传，直到 1533 年才印刷出版。不过它很早就在纽伦堡发生颇大影响，到 16 世纪更为雷蒂库斯、哥白尼和第谷等天文学家所广泛引用。至于《方位数表》则是从修订托勒密的数表而

---

① 关于库萨的生平和工作，见 DSB/Cusa/Hofmann，以及 Boyer 1985，299ff 的论述。

来，它不但有正弦，也初次包括正切数表。由于本是为星占术编纂，此书颇受大众欢迎，在1490年已经印刷出版①。

画家当中的数学家

与拉哲蒙坦那同时代的，还有阿尔贝提和法兰切斯卡，他们在透视法与几何学上的贡献已经在上文讨论过。比他们稍晚的还有帕乔利（Luca Pacioli，1445—1517）这位可以说是在画家群中成长的数学家②。他生于佛罗伦萨附近，少年时可能曾经在弗兰切斯卡画室中学习，其后跟随阿尔贝提，因此得到资助研习神学，成为方济各修士。此后他游历多所大学教授数学，曾经受知于乌尔比诺公爵，在五十之年（1496）受史佛查（Ludovico Sforza）公爵邀请赴米兰教授数学。这是个重要转机，因为公爵府当时文人学者荟萃，深好数学的达芬奇在府上已经多年，两人自此深相结纳，成为知交，在很多方面（例如“黄金分割”与某些机械问题）有合作研究。1499年法军占领米兰之后他们赴佛罗伦萨定居，以迄1506年分道扬镳。在1501—1502年期间帕乔利到博洛尼亚作短期讲学，并与数学家费罗（Ferro）论学，后者不久之后就在解决三次方程式问题上取得大突破，但这是否与帕乔利有关则无从知悉了。他在1514年返回故土，去世恰恰在马丁路德革命的那一年。

帕乔利最重要的著作有两部。1494年在威尼斯出版的《算术、几何、比例及比例法通论》（*Summa de arithmetica, geometria, proportioni et proportionalita*）是百科全书式的意大利文巨著，当时的数学知识，包括商业应用知识，都巨细靡遗网罗其中。它虽没有新发现，却得风气之先以本国方言著作，对于数学教育和传播有大功，此后代数学家如卡尔丹诺、泰特利亚、邦贝利等都受其影响。此外该书备载源于威尼斯的复式分录簿记法（double-entry bookkeeping），成为此后欧洲会计学基础。1509年他出版

---

① 拉哲蒙坦那在数学方面的工作，见 DSB/Regiomontanus/Rosen，以及 Boyer 1985，pp. 299－304。他的《三角学通论》有下列英译本：Regiomontanus/Hughes 1967，其导言对三角学在欧洲的发展以及拉哲蒙坦那在这方面的贡献有详细讨论。

② 关于他的生平和工作，见 DSB/Pacioli/Jayawardene。

《神圣比例》(*Divina proportioni*)，此书首卷是基础，讨论黄金分割、正多面体以及由之产生的半正多面体；次卷是以维特鲁威为基础的建筑学论文；末卷是法兰切斯卡著作的意大利文翻译。同年他又出版了《几何原本》拉丁文译本，但这只是修订康帕纳斯旧译本而成；此外，他还留下一部数学手稿，其中多处提到达芬奇。总体而言，帕乔利数学成就不算很高，但对欧洲数学的倡导之功实不可没。

代数学的发展

代数学是个非常宽广的领域，它的早期发展最少有两个不同的方向。首先，是代数学语言和观念的改进，这包括（1）记数法的改进，以及"数"的观念之扩充，即从自然数扩充到包括0、负数、无理数的实数，乃至虚数和复数；（2）各种运算符号的创作和应用推广，以使方程式和算式替代言语叙述；以及（3）各种数和多项式的四则运算规则之发现与确立。其实，这三方面的进步可以追溯到丢番图、柯洼列兹米、卡米尔、卡拉吉和费邦那奇。而且，曾经有许多观念、规则是多次被反复发现，然后才得以确立和广泛使用的。代数学的第二个发展方向是方程式论。这方面的最主要问题，自然是已经困扰数学家达3400年之久的三次和四次普遍方程式之解决方法，但此外方程式之普遍研究与更深刻了解也同样重要。只有在以上两方面都充分发展之后，代数学才能够从解决具体问题的零碎方法蜕变为一套普遍、抽象而又具高效率的运算系统，代数学本身才能够得到确立。

帕乔利的《通论》对于解方程式有系统论述，而且使用了许多简缩语以简化数学叙述，例如分别以"p"和"m"替代"相加"和"相减"，分别以"co"(cosa)，"ce"（censo)，"cece"替代"未知数"、"未知数平方"、"未知数四次方"，这可以说是从语句叙述向符号方程式过渡的开始，故而此书往往被视为近代第一部代数学著作。其实，前此30年即1464年柯洼列兹米的《代数学》已经翻译成意大利文，而法国舒克特的《三部书》也比《通论》早了足足十年。所以帕乔利实在应该称为欧洲代数学的早期代表人物。

舒克特（Nicolas of Chuquet，活跃于1480）是法国人，在巴黎大学文科毕业和习医，其后到里昂定居，大约1500年去世。除此之外，我们对他唯一所知，就是在1484年完成的法文代数学著作《三部书》（*Triparty*）①。此书在16世纪初曾经为里昂的罗什（Etienne de la Roche）在其著作中大量袭用，但此外无人问津，一直到19世纪末方才出版，因此在文艺复兴时代影响恐怕不大。它涉及一次和二次方程式解，那并不新颖，新颖的是它所提出的广义数目观念，以及所发展的记法形式（notational formalism）。例如，他将整数、分数、0、小数、正数、负数、不尽方根（无理数），等等，以及它们的四则组合，统统都视为“数”，而不再像古代或者中古那样视为特殊的不同性质之事物。他又以 p，m 和 R 等记号分别代表加、减和方根，例如 $R^2 14pR^3 20mR^4 11$ 在现代记法中就是 $\sqrt{14+\sqrt[3]{20}-\sqrt[4]{11}}$。更进步的是，他开始用“上标”（superscript）来表示未知数（他称之为“第一数”即 *nombre premier*）的指数，并且应用了0指数和负指数的观念：$m12^0$ 代表 -12；$m12^1$ 代表 $-12x$；$m12^{1m}$ 代表 $-12x^{-1}$，等等。最后，他还给出了两个代数项相乘和相除的许多例子（但还不是法则），如 36^3 与 6^1 之商为 6^2，即是 $36x^3/(6x)=6x^2$，等等。很显然，这些符号和形式法则所带来的巨大便利，是现代数学高效率运算的关键。

德国代数学

代数学在德国也同样蓬勃发展。它被称为“求未知术”（the “cossic art”）：在德文中未知数是“cosa”，代数书一般名“Die Coss”，代数学家称为“cossist”。他们最早出现的是里斯（Adam Ries，1492—1559），他在1525年写成一部代数学，后来以推行基于阿拉伯和印度数目字的纸笔算法（特别是当时还认为非常艰难的除法）著称，其1550年出版的算术

---

① 有关舒克特，见 DSB/Chuquet/Itard。Flegg，Hay & Moss 1985 是讨论舒克特及《三部书》的专著，书中附有《三部书》相当部分之翻译，但亦论及其数学手稿的其他两部分——舒克特所遗留的数学手稿其实包括三个部分：（A）《三部书》，那是算术与代数学论著，以分为算术、开方、代数等三部而命名；（B）实用几何学；（C）商业算术。该书最后一章更将舒克特与费邦那奇和帕乔利作比较，评定其在文艺复兴时期数学中的地位。

教本风行一时，影响极大。至于毕业于维也纳大学的鲁道夫（Christopher Rudolff，约1500—1545）也同样在1525年写成《代数学》（*Die Coss*），这是德国最早印行的代数学书籍，书中开始应用小数、分数和现代方根符号，并且已经提到二次方程式有两个解①。

但他们之间最突出的，当推施蒂费尔（Michael Stifel，约1487—1567）。他的一生经历极其传奇：在起初是奥古斯丁修士，后来成为马丁路德之忠实追随者和挚友，历任多处教会牧师；跟着沉迷于以数目学推测《圣经》所隐含的预言，甚至当着牧区会众宣称，耶稣基督即将在某日降临，因而被革职和逮捕，幸得路德一力回护并委以新职。此时（1535）他已经年近知命，这才幡然悔悟，进入维腾堡大学研习数学，并于1544—1545年间写成《算术全书》（*Arithmetica integra*）和《德国算术》（*Deutsche Arithmetica*）两种主要著作。其后他受宗教战争影响流亡至普鲁士，在柯尼斯堡大学和耶拿大学执教，但始终与同事不和，于1561年退隐。《算术全书》有三方面重要贡献。最重要的是强调代数学进步要基于普遍、不拘于特例的规则，因此通过负系数的应用大大简化了方程式类型和解法，例如，二次方程式便从传统三大类被归纳为下列唯一的标准形式：$x^2 = \pm ax \pm b$，同时得到下列标准解 $x = \sqrt{(a/2)^2 \pm b} \pm a/2$，其中的加减号和原方程中的加减号对应。其次，在数式符号的应用上他也有贡献，例如，令如今通行的 +，- 和 $\sqrt{}$ 号大为普遍化，以不同字母代表不同未知数，并且以重复字母代表高次方，例如，以 AAAA 代表 A^4。最后，他广泛应用负指数和分数指数，并从而引进了类似于对数的观念，例如：以 -3，-2，-1，0，1，2，3，4 系列对应于1/8，1/4，1/2，1，2，4，8，16系列。又将“某比例（譬如说27∶8）‘除以’某数（譬如说3/4）”解释为用该数作为前者的开方指数，即是计算 $[(27:8)]^{4/3} = (81:16)$。从此思路发展下去，他更提出两个比例“相除”的观念，那其实也就是计算指数的办法，例如以（27∶8）除（2187∶128）即是寻找 x 以使 $(27:8)^x =$

① 里斯、鲁道夫和下一段施蒂费尔的生平和工作，分别见 DSB/Ries/Vogel；DSB/Rudolff/Vogel；以及 DSB/Stifel/Vogel。

(2187∶128)，亦即 x = 7/3，等等。不过，他始终还未曾像舒克特那样，应用上标来代表指数。

九、代数学的突破

《算术全书》的出版仅仅晚于《天体运行论》和维萨里的《人体解剖学》一年，它可以算是当时代数学最完备和先进的专著；翌年卡尔丹诺的《大法》出版，其中载有三次和四次方程式解法，这样，就完全突破了传统代数学之藩篱，16 世纪 40 年代中叶也成为现代科学革命之起点。高次方程解法的发现是长时期和反复尝试的结果，但这只是技术性进步，说不上产生新观念或者开拓新领域。它的真正重要性在于，对于数学产生巨大振奋、激励作用，以及促成方程式系统理论的出现，所以其意义和“地动说”并不一样。

引起激烈抗辩的学术公案

三次方程式的解法在巴比伦的数学陶泥板上就已经有不成功的尝试，其后 12 世纪奥玛开阳曾经作系统和深入研究，但仅仅得到以三角学求近似解的方法。到 15 世纪末，帕乔利的《通论》也仍然以二次以上的高次方程式为亘古未解之难题。16 世纪在这方面的大突破，牵涉了北意大利的费罗、泰特利亚、卡尔丹诺和费拉利等四位数学家，前后历时将近半个世纪。它的经过曲折离奇，还引起空前的激烈抗争，成为人们所津津乐道的学术公案，它的梗概大致如下。

费罗（Scipione Ferro，1465—1526）早在 1500—1520 年间已经发现三次方程式解法，但至死守秘不宣，只传给几个门人。门人菲奥里（Antonio Maria Fiore）以此为主要问题，在 1535 年与泰特利亚（Niccolo Tartaglia，1500—1557）作数学竞赛，后者在苦思之下，居然获得灵感也发现了解法。米兰的学者、名医卡尔丹诺（Girolamo Cardano，1501—1576）在 1539 年知悉此事，于是设法诱使泰特利亚透露解法，但起誓绝不公布。不过在 1543 年卡尔丹诺又从费罗的另一位门人纳韦（Annibale dalla Nave）处见到费罗

的手稿，得知原来这方法是费罗首先发现，因此就在1545年出版的代数学专著《大法》上详细讨论此方法，并且将功劳归于费罗和泰特利亚两人。泰特利亚为此极其愤怒，在1546年出书缕述事件始末，间接指责卡尔丹诺背信弃义。卡尔丹诺的门人也是女婿费拉利（Ludovico Ferrari，1522—1565）因此去信抗议，为乃师辩护。经过十数封书信往来，各不相让之后，1548年费拉利与泰特利亚终于在米兰某教堂中举行了以米兰总督为首席裁判的数学争辩大会，以互出题目相难来判分胜负。这轰动全意大利的盛会结果如何并无记载，但从泰特利亚黯然不辞而别，亦且没有获得本城布雷西亚（Brescia）大学原来所应许的教职，费拉利则得到博洛尼亚大学教席看来，显然后者获胜。事实上，费拉利还从三次方程解法得到灵感，进而发现四次方程解法，这也由卡尔丹诺在《大法》第三十九章发表了①。

意大利的数学传统

意大利数学和文艺复兴一样，是个"北方现象"，其主要活动大部分发生于以米兰、威尼斯和佛罗伦萨为顶点，以博洛尼亚为中心的三角形区域以内，至于中部的罗马，则只不过因为是教廷所在，而偶然涉及。这区域与古希腊相似，有很强的独立城邦政治传统，那与它的数学发展可能也有相当微妙的关系。无论如何，首先发现三次方程解的费罗是博洛尼亚人，而且是该城数学世家：他在博洛尼亚大学教授数学达三十年之久（1496—1526），去世之后职务由他的弟子兼女婿内夫继承。至于他之所以能够超越千古才智，想到解三次方程的窍妙，应该说是苦思冥想之余得之于灵机触动吧（见本章附录）。费罗并无著作传世，只留下有关方程解法的手稿予内夫，但这未能流传后世②。

---

① 费罗、泰特利亚和费拉利的生平和工作，分别见 DSB/Ferro/Masotti，DSB/Tartaglia/Masotti，以及 DSB/Ferrari/Jayawardene；卡尔丹诺是一位多才多艺，一生充满传奇的学者，他的生平和事迹除了 DSB/Cardano/Gliozzi 这篇专文以外，尚见其自传 Cardano/Stoner 2002。

② 根据 DSB/Ferro/Masotti，有关费罗大发现的最原始文献，是博洛尼亚大学图书馆中一份载有其三次方程解法的手稿（MS 595N），此稿是该大学 1554—1568 年间的实用数学讲师 Pompeo Bolognetti 从费罗本人得来。

至于泰特利亚则一生坎坷：他生于米兰南部的布雷西亚，幼年丧父，少年遭逢兵乱几乎丧生，虽然得母亲悉心照顾挽救过来，但永远留下伤痕以及口吃毛病，由是而产生强烈的自卑—自大情结以及嫉恨心理①。他没有机会进大学获得正规学历，只凭自修成为数学教师，在威尼斯邻近各地周游谋生。在某次与费罗弟子菲奥里的数学竞赛中，他迎来了生命中唯一的大机会：当时菲奥里提出了三次方程的问题，他由于受到巨大压力而独立发现解法——另外一说则是菲奥里在恳求下将解法透露给他。无论如何，他得到了数学家梦寐以求的天大秘密，问题是如何借此成大名而已。不幸的是，在甘词诱惑下，他又将秘密透露给了当时已经声名显赫的卡尔丹诺，遂有六年之后被后者发现秘密的最初来源并且先行发表，以及与费拉利论争失败，后来在威尼斯含恨而终的悲剧。其实，泰特利亚不但是一位数学奇才，也还是弹道学（ballistics）和军事科学之前驱，在《新科学》（*Nova scientia*，1537）与《新问题与发现》（*Quesiti et inventioni diverse*，1546）这两本著作中，他提出了弹道在每一段都是曲线的观点，而且首先指出，无论炮弹速度如何，45°发射仰角必然导致最大射程这一重要定理。《新科学》还包括了最早的“炮火落距表”（firing table）以及两种测距和测高仪器的构想。此外，他在发扬古代数学方面也大有贡献：他首先将《几何原本》翻译成意大利文（1543），那是这部经典最早的现代语文版；又通过出版来推广阿基米德和约旦纳斯的工作——不过他之疏于注明出处则为人诟病。

文艺复兴科学家典型

泰特利亚有多方面才能，他的对头卡尔丹诺更是才大如海，无所不窥；泰特利亚身世凄凉，卡尔丹诺却名成利就，风光一时。不过他们两人同样独立特行与孤耿狂傲，又同样在人生的黄昏遭逢意想不到的噩运，真可谓殊途同归的一对冤家。

---

① 泰特利亚原名方坦那（Niccolo Fontana），“Tartaglia”是外号，口吃者之意，后来成为正名。

卡尔丹诺的父亲是米兰的知名律师，亦精通数学，不但在帕维亚大学任教和在米兰出任基金会支持的公开讲座，又与达芬奇相往来，这对卡尔丹诺的广泛兴趣和志向自然颇有影响。但他本是私生子，父母后来才成婚，而且体质羸弱，所以其初仅充当父亲的助手，后来才争取进大学习医。父亲去世后，些微遗产转眼挥霍殆尽，他只好依赖赌博为生，凭借对几率问题的心得屡屡获利。1525 年毕业后他苦苦挣扎了将近十年，主要因为性格强烈，脾气孤傲，所以多次被米兰医生公会拒绝注册，几乎陷入赤贫。后来还是得到父执帮助，在 1534 年继承了父亲当年所担任的公开讲座，又为有名望的学生私下治病而大获成功，这才声名鹄起，渐渐有了转机。1539 年是他生命的转折点：当时他出版了两部数学著作，医生公会在权贵的巨大压力下也终于让步，准许他入会；更重要的，则是他听到了三次方程得解的消息，开始接触泰特利亚，其后出版《大法》成名于数学界。不过，当年他仍然是以医术精湛驰名全欧洲，不但出任帕维亚大学医学教授，当选医学会会长，还在 1552 年被重金礼聘到爱丁堡为濒危的大主教治病，妙手回春之后名声更是如日中天。但此后噩运便接踵而来：1560 年长子因为谋杀不忠妻室而被判酷刑处死；其后沉沦于赌博的次子则因为放荡、盗窃而被放逐；最后他自己更在古稀之年为了以星占推算耶稣事迹而被“宗教审裁所”判狱，虽然不久就得释放，却不允再上讲坛。翌年他赴罗马获取教皇宽恕，其后更蒙优礼相待，得以撰成自传终老①。

卡尔丹诺的传奇一生令人目眩神驰，但如今已经为历史洪流淹没，他能够流传后世的是《大法》(*Ars Magna*)②。虽然此书并未采用舒克特和施蒂费尔所发明的简化符号，除了 p，m，R 等最普通的符号以外，仍然是以语句表达数式，但实质上它是一部全面和有系统，不折不扣的方程式

---

① 这部自传相当直率、坦白，而且颇多自我分析、反省，是罕见的科学家心路历程，在其中，他的医学事业占了颇多篇幅，至于《大法》一书则只有寥寥数语提及而已。此书有下列英译本：Cardano/Stoner 1931；格拉夫顿的《卡尔丹诺的宇宙》即 Grafton 1999 一书则对 16 世纪星占学以及卡尔丹诺的星占活动有深入探讨。

② 此书有下列英译本：Cardano/Witmer 1993，为了便于读者理解，译本已经将部分以语句叙述的数式改用现代方程式表达。

论，而且初次发表了（虽然这并非作者所首先发现）三次和四次方程解法，这是它的划时代意义所在。书的第一、第四两章是方程式根（root）的通论：虽然作者仍然以负根为不可接受的“假根”（fictitious root），亦尚未意识到虚根、复根、重根（double root）的存在，但他却能通过众多例子多次指出：二、三、四次方程最多可以分别有二、三、四个不同的根（其中可能包括“假根”）；三次方程倘若没有 x^2 项则有一假根等于其他两根之和的负数；求得一根之后方程式的次数可以降低，等等通例。第二至三章则是方程式（包括衍生型的可约化高次方程）系统分类——因为当时尚无负系数观念。跟着，第五章讨论二次方程；第六至三十八章讨论各种不同类型的三次方程（也部分涉及四次方程），包括如何通过变换（transformation）来移除二次项或者一次项，以及近似解法和特例；第三十九章讨论四次方程的基本解法；第四十章是特例，包括方程系数变换符号时对根的影响。比起前代作品来，它的完备和深刻实在值得赞叹。

令人敬佩的是，卡尔丹诺在年逾不惑之后文思泉涌，除此书之外竟然还有上百种作品，题材遍及哲学、宗教、星占、力学、机械学、地质以及其他数学领域，而且颇多创见。他自己很坦白地承认，其所以著作等身是因为“老实说，我是受梦境所驱使……但我也强烈渴望获得不朽名声”①。作品中最重要的有以下几方面：他晚年从赌博中领悟的几率（probability）理论，包括博弈获胜几率的基本公式，同样事件重复出现的几率，等等；可惜此书没有及时出版，因此对后世并无影响。在流体力学方面，他指出渠道中的水流面必然逐渐降低，其两旁的壁板会受压力，而溪流的流量则等于溪道截面积乘以流速。他提出力矩观念以应用于静力学，又首先比较枪弹在空气和水中的射程，以推测空气密度，得出它是水的 2% 之结果，这虽然是基于错误理论，却颇有实验精神。在地质学方面，他指出流水侵蚀会形成山陵，陆上的海生物化石证明海床上升，更提出入海河流源自降雨，海水又通过蒸发而补充大气中的水汽，从而形成恒久循环。最后，他

① 见 Cardano/Stoner 1931，p. 224；他在此自传第四十五章列出了自己所有著作。至于有关他的星占学、魔法、巫术，等等，见 Thorndike 1923 - 1958，v，Ch. 26。

还著有两部自然百科全书，其中自炼金术、密码学以至机械制造、宇宙学等等，都无所不包，而且其中颇有与达芬奇笔记本所载相近的。显然，他也同样是典型的“文艺复兴科学家”。

《大法》的后续之作

当然，我们还要提到卡尔丹诺的得意弟子费拉利。他幼年丧父，14岁（1536）被送到卡尔丹诺处做佣仆以替代堂兄。由于他天资聪颖，能够读写，所以颇受垂青，不但当上秘书和得蒙传授数学，更于短短四年后（1540）在三次方程解法基础上发现四次方程解法。这时卡尔丹诺已经地位稳固，所以翌年很慷慨地将公开讲座相让，令他再无后顾之忧，可以全力协助恩师完成《大法》的撰述。在1548年与泰特利亚的数学论争大会之后，费拉利名声如日中天，得米兰总督委任以税务官的美差。将近二十年后他衣锦荣归，回到本城博洛尼亚出任数学教授，不料噩运随即降临：同年稍后他就突然去世——而且很可能是遭到贪婪的同住寡姐以砷剂谋杀的！

以他的过人天分，费拉利在《大法》之后未能够对代数学有进一步贡献令人深为惋惜，但这遗憾随即就由另外一位数学家邦贝利（Rafael Bombelli，1526—1572）填补了。邦贝利出身博洛尼亚殷商世家，但未曾受正规教育，仅跟随一位建筑工程师学习。他弱冠之年正当《大法》出版以及泰特利亚和费拉利数学论争岁月，耳濡目染，自然深深感受了数学前缘研究的兴奋与激情。此时他已经通过师傅和一位贵族赞助，成为有名气的水利工程师，并且在1551—1565年间先后被委以疏浚基安那河谷（Val di Chiana）和蓬田沼泽（Pontine Marshes）的重任。在此时期他借着工程停顿的歇息时间开始撰写五卷本的《代数学》，并在1572年出版前三卷。由于他是年突然去世，所以其余两卷未及完成，一直到1928年全部手稿才在博洛尼亚某图书馆发现，翌年最后两卷稿本方才面世。

这部《代数学》是受《大法》激励所作，理念上不同之处在于它力求自足、完整、明白、有条理和系统化，以令即使未曾深究专业数学词汇、语法、规则的普通人也能够循序渐进，窥其堂奥，也就是已经具有普

及教本的观念。此书第一卷论基本观念和运作，第二卷是有系统的方程式论，第三卷是举例和应用题——此卷颇受丢番图《算术》一书的影响，其中有143道例题之多撷取于该书①；最后两卷则是代数学在几何问题上的应用。邦贝利在这书中最重要的两个贡献是：首先，在数式中全面采用符号来代表未知数、系数、四则运算、方根，等等，从而大大简化数式的书写、了解和运作；更重要的是，他首先接受虚数同样可以是方程式根这一观念，并且定出虚数和复数的四则运算规则，从而决定性地扩展了“数”的观念和范畴。

回顾从库萨、拉哲蒙坦那、帕乔利以至费拉利、邦贝利这超过一个半世纪的发展，我们无疑会感到，将符号全面和有系统地应用于数式，也就是以方程式取代语句叙述，这在今日看来既简单明了又顺理成章的做法，在当年却灌注了多少第一流数学家的心血，经历了何等迂回漫长的道路。这也许是不得不然的：毕竟，数学符号的全面应用相当于一种崭新语言的发明与普及，也意味思想方式的基本改变，那自然并非朝夕可及。此外，这一时期学者逐渐脱离教会荫庇，转而寻求凭借知识独立生活：从格罗斯泰特、罗杰培根、大阿尔伯图、布拉沃丁、奥雷姆、库萨这些主教、教士兼科学家到拉哲蒙坦那、哥白尼这些在不同程度上依赖教会的科学家是一个阶段的转变，从后者到费罗、泰特利亚、卡尔丹诺、费拉利、邦贝利等专业知识分子又是一个转变。这些转变反映普世性教会之逐步为新兴工商、贸易社会取代，那当然也就是以文艺复兴为枢轴的从中古到近代之转型。不过，从泰特利亚之困顿挣扎、卡尔丹诺之以医道驰名、邦贝利以水利工程为职业，可见这仍然是个困难与缓慢过程，而且对此大学体制并未能发挥决定性作用，所以它一直到17世纪尚未完成。

---

① 该书唯一抄本是贝沙理安从君士坦丁堡带出，拉哲蒙坦那曾有意翻译出版而未果，近百年后邦贝利再发现此书，但它到1575年方有拉丁译本出版而广为人知。见DSB/Diophantus/Vogel。

十、探究无限：解析学的开始

邦贝利是代数学家殿军，此后数学家所关心的问题就转向分析和连续体，也就是进入分析学领域，至终导致微积分学出现。此运动的前驱是翻译、出版、发扬古希腊数学的可曼迪诺和摩罗力高，他们影响了下面要讨论的维艾特（Viète）、斯特文（Stevin）和瓦莱里（Valerio），接续此传统的，还有下一章要讨论的大量其他欧陆学者，以迄牛顿和莱布尼兹在17世纪中叶集其大成，这样前后足足有一个多世纪之久①。值得顺带一提的是，这些欧陆学者不但大部分与天主教会有千丝万缕关系，还有不少是耶稣会士，或者出身耶稣会学院。所以即使在“反改革”潮流中，天主教会与科学发展之间的关系仍然非常微妙，是不能够根据个别事件而轻易论断的。

核心问题：如何处理无限？

在16世纪上半叶代数学成熟了，此后它很自然地要应用到几何学问题上去，这发展成为分析学，也就是后来所谓微积分学。它所要解决的问题基本上有两大类。第一类是求曲线所包面积，或者曲面所包体积，解决的策略自古以来都是把面积、体积分成许多具有规则形状，因此可以准确计算的微小元素，然后以其集合来逼近所求结果，这就是积分。但倘若要求积分结果完全准确，那么这些元素就必须微小至消失，其数量也要多至无限，所以这就变为无限小乘无限大，即 $0\cdot\infty$ 的问题。第二类是求某个“量”（例如距离、速度）在瞬时间的变化速率，或者决定曲线上某点的切线方向，这要求把时间或者空间切割成极微小的分段，然后计算某“量”在其中的变化，以及相关变化率，这就是微分。同样，倘若要求结果完全准确，那么分段以及“量”在其中的变化两者都必须趋近于零，所以这是两个无限小之比例即 0/0 的问题。统而言之，微积分学的发展必

① 微积分学发展过程见波耶的《微积分学历史及其概念发展》即 Boyer 1959。

须先“克服无限”，亦即从心理上、观念上和技术上克服无限大和无限小所带来的困扰。

面对这些问题，学者大致有三个不同策略。首先，是假定无论数学上或者实际上将有限形体分割都有限度，最后会达到“不可分割元素”(indivisibles)，即数学上的“线”分割到最后也会变为某种不可再分的“点”。这是数学上的“原子论”，它在古希腊已经出现过，事实上等于根本取消无限的问题。但这样一来，也就否定了几何形体的连续性，这显然和直观抵触。其次，是将“无限小”作为接近于0的任意小数目，然后略去小于“无限小”(infinitesimals)的其他数目。但这样，却好像等于没有解决“完全准确”的要求。最后，则是引入“极限”(limit)亦即无限逼近观念。但极限是什么？它和无限小有何关系？这两个问题不彻底解决，那么这一途径仍属徒劳。

其实，阿基米德在计算几何形体的时候早就碰到过“无限”问题，他的解决方法是以“归谬法”证明以高度分割和无限逼近法所得结果的正确。但他这方法是几何式的，无法简单推广到以代数为计算方式的解析学。更麻烦的是，它没有普遍性，每个问题都得个别解决，因此“回到阿基米德”也不是办法。不过，这却解释了为什么所有十六七世纪数学家都要“回到希腊”，事实上是从阿基米德再出发。而且很显然，前苏格拉底自然哲学家如芝诺所关心的运动问题，即飞矢不动、阿基里斯不能够追及爬行龟之类悖论，甚至令毕达哥拉斯门徒那么震惊的“正方形之边与对角线不能够测比”之发现（它导致了线长、面积等“几何量”并非“数目”那样的古希腊数学观点），亦即实数(real number)的“连续统”(continuum)问题，其实也都是“无限”问题的反映。因此，可以说，在科学革命前夕，西方科学家得再一次面对两千年前希腊人所未曾完全解决的老问题。

希腊传统的再发扬

16世纪中叶的几何学复兴是以印刷出版的古希腊数学典籍大量涌现为契机，而这是由上一章所讨论的希腊热潮所带动。但它最直接的原因则

可以归于和罗马教会有密切关系的南北两位意大利数学家，即前述的摩罗力高和可曼迪诺（Frederico Commandino，1506—1575）①。摩罗力高是西西里的本笃派教士，他遍习数学、天文、光学、力学，并且有著作出版，同时搜集、编辑、翻译了多位古希腊数学家如狄奥多西、曼尼劳斯、欧几里德、阿波隆尼亚斯等的作品。可惜他地望偏僻，出版不多，因此在教会以外不甚有名。可曼迪诺则不同，他出身意大利东北乌尔比诺城世家，年轻时研习希腊文和拉丁文，后来因为偶然机缘学习数学，壮年在帕多瓦大学进修达十年之久（1534—1544），学习哲学和医学，在此前后又曾经来往乌尔比诺和罗马之间，为多位主教、枢机主教甚至教皇赏识，出任他们的秘书或者私人医生。但他真正兴趣和毕生志业则是在编辑、翻译、评述和出版古希腊数理天文学著作，这以 1558 年出版阿基米德著作以及托勒密《球面投射法》评注本为开端，其后陆续出版了欧几里德、阿波隆尼亚斯、阿里斯它喀斯、托勒密、赫伦、泊布斯、塞里纳斯、尤托斯乌等的大量作品译本，包括 1565 年出版自己所著的《论重心》，以迄临终仍然在翻译赫伦和泊布斯的著作。12 世纪的翻译运动以“迎接阿拉伯典籍”为主，15—16 世纪柏拉同、科西莫、费齐诺、米兰多拉等所引起的希腊热潮以“迎接柏拉图与赫墨斯”为主，可曼迪诺是“回归希腊”运动的殿军，而他终于是把焦点集中在古希腊科学典籍上了。通过他的翻译和评述，可曼迪诺深刻影响了荷兰的斯特文以及多位意大利科学家，包括其弟子，本城的圭多波度（Guidobaldo），以及后者所提携的伽利略。

解码专家和军事革命家

欧洲在 16 世纪下半叶烽烟遍地，兵荒马乱。然而，就科学而言，这并非空白时期：不但第谷躲在北方安静小岛上潜心作天文观测，而且在欧陆大动乱的中心也还有杰出的数学家出现。我们首先要提到的是，律师出身，活跃于法国西海岸新教徒大本营拉罗谢尔（La Rochelle），后来两度

---

① 摩罗力高和可曼迪诺，分别见 Rose 1975，Ch. 8 & 9 的专章论述。

为王室所重用，甚至成为亨利四世密码专家的维艾特（François Viète，1540—1603）。他对天文学、三角学和几何学都有研究，却认为哥白尼的理论不能成立。不过，他的《分析方法导论》（*In artem analyticem isagoge*，1591）却在意大利代数学传统基础上向前跨进一大步，成为符号代数学的开山之作，从而为真正的分析学铺平道路。它系统地应用字母代表未知数和已知系数；以符号代表四则和开方运算（但仍然以文字表示乘方和“等于”）；列出了方程式的多项运作规则，例如移项、各项同时以未知数或者已知数目相除；将方程式表达成未知数与它诸根 x_1，x_2，x_3，x_4…之差的乘积，即 $(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)(x-x_4)\cdots=0$ 的形式。和维艾特同时的，还有英国的哈里奥特（Thomas Harriot，1560—1621），他毕业于牛津，曾经在罗利爵士（Sir Walter Raleigh）麾下负责北美洲东岸的开发和殖民事宜，对于光学、天文学、数学都有研究。这两位数学家保持通讯并且互相影响，他们在代数学上的贡献也大致相同，但哈里奥特重新应用符号表示乘方，而且引入了今日通行的等号“=”，使得方程式更为符号化①。

然而，真正在微积分学上踏出小小第一步的，则是在荷兰独立战争中成长的斯特文（Simon Stevin，1548—1620）②。他出身南尼德兰商人家庭，弱冠之年曾经独自到中欧漫游六载（1571—1577），回国后在税局工作，直到壮年（1583）才进入新近成立的莱顿大学（Leiden University）就读，从而认识莫里斯亲王（Prince Maurice of Orange），成为他的数学导师。翌年“沉默者威廉”遇刺，次子莫里斯继位，以尚未弱冠之年统帅荷兰联军，抗拒西班牙大军入侵，而斯特文则成为他的军队组织、训练、战略专家，后来还成为联军后勤指挥。事实上，在他们两人合作研究、试验、推动之下，荷兰发动了一场全面性的军事革命，这是它能够以寡敌众，至终打败强大的

---

① 维艾特和哈里奥特的事迹、工作，分别见 DSB/Viete/Busard 与 DSB/Harriot/Lohne。

② 斯特文的事迹、工作，见 DSB/Stevin/Minnaert，他的主要著作有下列五卷英荷对照本：Stevin/Dijksternhuis and Dikshoorn 1955，该书首卷的“导言”pp. 3–34 讨论其生平、成就，并附有著作目录。

西班牙帝国的基本原因，而这革命的指导思想也迅速传遍整个欧洲①。斯特文不但是军事工程师，也是科学家和语文学家。他从壮年开始戎马倥偬，却仍然留下大量数学、力学、导航、天文、乐理、水利工程、练军、布阵、城防攻守、语言学、公民教育等各个不同领域的著作。其中最有名的，是在1586年的力学论著中以“缀球环链”（*clootcrans*）的巧妙装置来证明斜板上重物平衡条件，以及在同年首先宣称重物坠落时间与重量无关，并且在30英尺的教堂高塔上释放重量相差10倍的铅球以资证明。这有确切记载，而且比伽利略早了三年。他也是在16世纪首先公开和大力宣扬哥白尼“日心说”的极少数学者；又致力推行数学上的小数记法以及+，-，$\sqrt{\ }$等符号的应用，并且倡导整数、分数、不尽方根、负数等等都同样是“数”，这些对数学的进步自然有很大的推动作用。

在微积分学方面，斯特文可以视为最早提出发现“极限”观念者。由于可曼迪诺的努力，在16世纪中期古希腊数学典籍的译本大量出现，大家竞相研习阿基米德著作，这就引致了对他归谬法的修订。例如，在求圆锥体（conoid）的重心时阿基米德先是用多个外接圆柱体来逼近圆锥体，然后通过计算这些圆柱体的共同重心来逼近圆锥体的重心；但圆柱体数目倘若并非无限，则总会有误差，那么要严格证明的话，就只有用两个不同的圆柱体系列，来从上下两个方向逼近圆锥体的真正重心，然后以归谬法证明其位置。但作为工程师的斯特文则省却了那么麻烦的最后一步：他在1586年的著作中指出，系列可以“无限逼近”所欲证明的结果，也就是说，误差可以小于任何数值，而且两个系列都趋向于同一结果，所以它是正确的。他称此为“数值显明法”（demonstration by numbers）。此外，他又用同样的方法来证明，拦水墙所受平均压力等于水深一半处的压力：只要将墙分成横条，那么每一横条所受水压力量的上下限可以轻易计算，整幅墙所受压力的上下限因此也可以推算；所分成的横条数目增加时，这上下限

① 荷兰军事革命对欧洲军事思想与实际军事组织、训练影响极为巨大深远，其历史和相关讨论见 McNeill 1984，Ch. 4。此书有中译本，即麦尼尔著，倪大昕、杨润殷译：《竞逐富强》（上海学林出版社 1996）。

会无限接近，也就是彼此相差趋于无限小，并且共同趋于所要证明的结果。

和斯特文同样受可曼迪诺影响的，还有瓦莱里（Luca Valerio，1552—1618）[①]。他具有希腊血统，出生于意大利半岛靴跟以东的科孚岛（Corfu，即今日希腊 Kerkira 岛），在罗马大学研习哲学、神学与数学，得博士学位后留在罗马大学教授希腊文、修辞学和数学；1590 年访问比萨的时候初识伽利略，将近二十年后两人开始了长达七年的频繁通讯，1612 年他更被新近成立的“科学协进会”（Academia dei Lincei）推选为会员，而且热心会务[②]。但 1616 年教廷正式宣称哥白尼学说有谬误，他在惊恐之余中断通讯，并退出协会，两年后郁郁以终。瓦莱里著有《论重心》（*De Centro Gravitatis*，1604）和《抛物线之面积》（*Quadratura Parabolae*，1609），方法步武阿基米德，但在《论重心》中提出了以下有创意的新观念：倘若系列（series）x 和 y 分别趋近于 a 和 b，而 a/b = c，那么系列 x/y 就趋近于 c，这在日后成为微积分学被广泛应用的基本原理，即系列极限之比值等于系列比值的极限。

斯特文和瓦莱里在解析学上的工作跟着就被 17 世纪更知名的伽利略、卡瓦列里（Cavalieri）、费马（Fermat）、笛卡儿等继续向前推进了。然而，那也同时是天文学、物理学、实验科学和科学思想风起云涌的时代，因此在下一章，我们先得顾及这一大批才华横溢科学家在其他方面的成就，然后再回过头来讨论解析学的进展。

---

① 见 DSB/Valerio/Stromholm。

② Academia dei Lincei 直译为“猞猁学院”，取意于猞猁目光锐利。它是 1603 年由四位年仅二十来岁的年轻人创办，以共同努力促进科学，特别是自然事物的观察和如实描绘为目标，可以说是自然史研究的前驱。它之成立早于英、法、佛罗伦萨等地的同类组织，后来经过许多沧桑变化，成为今日意大利科学院前身。有关此学院早期历史见 Freedberg 2002，特别是 Ch. 2。

附录：费罗解三次方程式途径的猜想

费罗发现三次方程式

$$x^3 = px + q \tag{1}$$

的解是：

$$x = [p/2 + (q^2/4 - p^3/27)^{1/2}]^{1/3} + [p/2 - (q^2/4 - p^3/27)^{1/2}]^{1/3} \tag{2}$$

但形式那么复杂的解到底是循何种途径得出来的？意大利科学史家（同时也是汉学家）瓦卡（Giovanni Vacca，1872－1953）猜测，这可能是用下列巧妙的模拟方法。倘若将 x 写成如下形式：

$$x = (a + b^{1/2})^{1/2} + (a - b^{1/2})^{1/2} \tag{3}$$

那么立刻可以通过乘方得到下列解：

$$x^2 = 2(a^2 - b)^{1/2} + 2a$$

在此式中 x 项是缺去的。同样，倘若维持 x 的上述形式不变，但将方根改为三次方根，即：

$$x = (a + b^{1/2})^{1/3} + (a - b^{1/2})^{1/3} \tag{4}$$

那么同样可以通过乘方得到：

$$x^3 = 3(a^2 - b)^{1/3}x + 2a \tag{5}$$

这已经是简单三次方程的形式，其中 x^2 项也同样缺去。现在只要令 $p = 3(a^2 - b)^{1/3}$，$q = 2a$，那么（5）式就变为前面的三次方程式（1）；同时反求 a，b，即得 $a = q/2$ $b = q^2/4 - p^3/27$，这代入（4）之后即得到方程式的解（2）。但四次方程式却不可以用相类似方法求解，而必须用费拉利所发现的另外方法，其细节见任何代数学教本或者详细数学史，例如 Boyer 1985，pp. 314－315。

第十二章　混沌中出现的科学革命

欧洲从近代转到现代是天翻地覆的巨变。所谓“天翻地覆”，是指以罗马教会为核心的旧体制之崩溃：这以马丁路德革命为开端，其后的荷兰独立战争与三十年战争确定了欧洲宗教版图之永久分裂；延续将近半个世纪的英国清教徒革命，实际上是披上宗教外衣的欧洲第一场政治革命，它刚好结束于牛顿《原理》出版翌年。现代科学革命便是在上述穷年累月战争和革命所造成的百余年大混乱中酝酿出来。它不但牵涉许多国家和科学家，也同样充满竞争、争论和混乱，从其中几乎难以看到清晰条理和明确目标。也许，所有结构性巨变，包括政治、宗教与科学革命，都只能够是从丧失了一切既定秩序的混沌中诞生吧。本章可以分为前后两部分：前部大体包括17世纪前六十年，它记录了许多科学家朝不同方向所作的各种努力，他们各有杰出成就，但整体所呈现的，仍然混沌一片，显不出意义来；后部包括随后三十年，它记录了牛顿个人的探索历程，特别是1684—1687年那短短三年间，他如何将所有前人和自己的发现熔铸为一个完整体系，它圆满地解决了自柏拉图和亚里士多德以来困扰学者达两千年之久的天文和物理问题，更为大自然探索树立了新目标与方法，从而奠定随后三百年现代科学发展的基础。

一、从第谷到开普勒

就现代科学革命而言，哥白尼是起点，牛顿是终点，在两者之间产生最直接，最强烈刺激的，则是天文学与动力学上的新发现、新观念，这主要归功于16—17世纪之交的三位科学家：作长期和精密观测的第谷；将第谷天文数据归纳为行星运动定律的开普勒；以及公开宣扬哥白尼学说，并且发现了两条物体运动基本定律的伽利略。他们的工作戏剧性地改变了欧洲学界的观念与气氛，促成了17世纪科学热潮，所以是需要详细论述的。

乌兰尼堡的主人

第谷（Tycho Brahe，1546—1601）之所以能够成就大业，主要是在丹麦王室慷慨赞助下将德国天文学传统发挥到极致①。他出身丹麦贵族，家族为王室亲信重臣。因为不明原因，他自幼由叔父抚养成人，仅12岁（1549）就进哥本哈根大学攻读法律。当时丹麦已经信奉路德新教，哥本哈根大学则受梅兰希顿教育改革影响，也就是说以“七艺”为根本，在其中数学和科学占相当重要位置。因此，毫不奇怪，翌年他目击了一次准确预测的日蚀之后大受触动，于是就购买萨克罗博斯科、拉哲蒙坦那等的书籍，决志转向天文学了。像其他贵族子弟一样，他在十五之年由导师陪同到中欧游历，表面上是为进修古典语文，增长练历，但在莱比锡大学的三年期间（1562—1565）却瞒着导师，私下从师问学，将积蓄用于购买天文学书籍、数表（包括著名的《阿方索数表》）、仪器，开始作天文观测。1563年他观察土木二星的“合”，发现结果与根据计算所得有相当大误差，这时他尚未弱冠，已经俨然天文学者了。其后他回到哥本哈根一

---

① 他的父姓是布拉赫（Brahe），第谷（Tycho）是拉丁化名字，我们跟随一般习惯称他为第谷。第谷的标准传记是 Thoren 1990；至于 Christianson 2003，则是一部别传，着力于时代背景以及他众多助手的来龙去脉；DSB/Brahe/Hellman 对他的生平和工作也有简明叙述。

年，其间叔父为王室殉难，他则得到舅家支持回到欧洲，在维腾堡、罗斯托克、巴塞尔、奥格斯堡等地游学，前后达五年之久（1566—1570），其间曾经问学于梅兰希顿的女婿波瑟，与各地天文学者密切交往，以及设计和建造天文仪器，包括一个巨型木制四分仪。

他回国之后不久父亲病逝，他则再次得到舅父大力支持，在其主持的修道院（Herrevad Abbey）中建立一个小小研究所，包括玻璃作坊、工场、化学实验室、天文观测台，等等，因此得以仔细观测 1572 年出现的璀璨新星（nova），并随即发表相关论著。当时丹麦君主腓特烈二世亦同样年少有为，而且锐意在学术和教育上革新进取。第谷循家族传统与他颇有往还，得到他鼓励在 1574—1575 年间到哥本哈根大学讲授天文学，并蒙派遣到外国搜求建造人才。此时他已经承受丰厚家产，私下计划到巴塞尔定居，潜心学术。但敏锐的腓特烈决意留下这位英才，于是投其所好，提出颁赐丹麦海峡中的汶岛（Hven）予他作为天文观测之用，并且另外颁赠丰厚赏赐以提供所需建造费用和经常费。这样，从 1576 年开始，第谷就以贵族和近臣身份获得庞大资源，在汶岛上建造庄园，开设工场，研制各种巨型精密观测仪器，设立名为乌兰尼堡（Uraniborg）的庞大天文观测基地[①]（图版 10）。这与图西所主持的马拉噶天文台和兀鲁伯亲自指挥的撒马尔罕天文台颇为相似，因为它也是由君主“委托”科学家或者科学家—领主来建造和运作。这三者都可以说是近代科学实验室的滥觞。

第谷在乌兰尼堡前后超过二十年（1576—1597），其间招收、训练的学生、助手、技师前后不下七八十人之众，逗留时间自数月以至三五年不等，所以他虽然大小事务缠身，还经常接待上至王侯（包括丹麦和苏格兰国王前后共三位），下至各方慕名而至的学者、学生，却仍然能够通过资深助手指挥年轻学者团队，经常不断地维持对日月五大行星位置同时作精细观测。由于仪器精良，程序周密，因此观测误差减低到 1′以下，甚至低至 20″或 10″，由此所长年累积的大量数据，成为乌兰尼堡在天文学上的

---

① Uranus 是希腊神话中的天神，天王星也以此命名，所以乌兰尼堡（Uraniborg）即“天堡”之意。

最重要贡献。但第谷本人并不以观测为满足，他还提出一个介乎托勒密与哥白尼之间的模型，即地球仍然居宇宙中心不动，月和日绕地运行，五大行星则绕日运行，并且希望以此来建构他自己的天文系统。他这方面的著作由于女婿和开普勒的努力而得以在身后不久出版，但并没有发生影响。

对第谷呵护备至的腓特烈二世在 1586 年去世，克里斯蒂安四世（Christian IV）以冲龄继位，但摄政会议诸大臣仍然是与第谷交好的亲朋，对他同样维护不遗余力。然而，到 1596 年克里斯蒂安亲政并且锐意推行中央集权的时候，形势就顿然大变了。这时第谷已经名满欧洲，自然无法对新君低声下气，委曲求全，因此在 1597 年毅然放弃苦心经营多年的乌兰尼堡，变卖财产，带同家人、助手、书籍、主要仪器出走德国。他最后得到神圣罗马皇帝鲁道夫二世（Rudolf II）赏识，委任为“帝国数学家”（Imperial Mathematician）并且支持重建“新乌兰尼堡”。然而，此时他已经心力交瘁，不多时就溘然长逝了，临终时（1601 年 10 月）被迫将历年累积资料全部交付跟前唯一的天文学者开普勒处理。

临危受命的哥白尼信徒

开普勒（Johannes Kepler，1571—1630）在第谷逝世前一年（1600 年初）才前往布拉格投靠他。第谷慧眼识人，看到了他的超卓才能。然而两人却相处得不好，这主要因为开普勒是哥白尼信徒，并不服膺第谷的理论，又曾经颂扬背叛第谷的另一位学者，所以得不到完全信任。更何况他心高气傲，以合作者而非助手自居，因此两人时起冲突，开普勒更一度愤而出走，后来有感于所见资料之精确丰富才回心转意重新投靠第谷。1601 年 9 月他处理家事完毕回到布拉格，第谷随即带领他谒见鲁道夫皇帝，跟着一病不起，临终时平日亲信的弟子都已经星散各奔前程，甚至女婿也不在跟前，因此唯有将所有资料“托孤”予开普勒，这既是历史性巧合，更属天意吧。

开普勒出身寒微，生于德国中部符腾堡（Württemberg）地区的小镇维尔（Weil），父亲是雇佣兵，母亲则是旅馆主人女儿。他少年时代曾经就读修院学校，16 岁获得奖学金进蒂宾根（Tübingen）大学，20 岁以优

异成绩毕业①。当时大学中的天文学教授梅斯特林（Michael Maestlin，1550—1631）对哥白尼有深刻研究，不过仍然抱着非常审慎的观望态度。他深深影响了开普勒，但这是潜存的，因为当时开普勒仍然以教会为事业阶梯，所以毕业后修读神学，1594 年为大学推荐，到奥地利南部的格拉兹（Graz）出任路德派学校的数学教员以及地区数学师，看来前途并不光明。在此阶段他不但怀着很深的宗教情怀，而且对星占学深感兴趣，这可以从他到任后每年发布包括星占预言的历表看出来。他终身是虔敬教徒，在三十年战争中多次因为坚持路德派信仰而被迫颠沛流离，而且成名后也还不时发布历表——虽然这是为了补贴收入，但最少在观念上他还是认为星占学有理性基础。

到格拉兹后两年出现了开普勒生命中第一个大转机：他在 1596 年写成《宇宙奥秘》（*Mysterium Cosmographicum*）一书。根据自述，梅斯特林的授课使他深感哥白尼系统远较托勒密系统为清晰可信，他甚至曾经为此与同学进行争议。因此从 1595 年暑假开始，他就在哥白尼系统的基础上作进一步研究，专心致志要解答行星轨道的数目、大小以及运转方式这三个基本问题。最后他发现：柏拉图五种正多面体刚刚足够“分隔”五大行星加上地球的六条轨道，这解释了轨道数目；至于轨道大小即其半径，他则从各正多面体与轨道球面的外接与内切关系来决定——很神奇的，他居然也得到了与哥白尼数据相符（差别大致在 5% 以内）的结果。他还从外面的行星轨道较长，而且速度较慢这一观察，得出了日距与运行周期的关系，这结果与正确规律（日距与周期的 2/3 次方成比例）也颇为相近。最后，他还猜测，行星是从居中的日球得到运转动力，这动力会随着距离减弱，所以外行星速度较慢。《宇宙奥秘》虽然是不成熟的少作，基本假

① *DSB/Kepler/Gingerich* 为开普勒一生事迹与工作提供了详细和深入综述；卡斯珀著有他的标准传记即 Caspar/Hellman 1993（原版 1959，嗣经增订征引及索引出此新版）；Voelkel 1999 是简括、生动的通俗传记；文学家科斯特勒的《分水岭》即 Koestler 1961 则为大部分根据 Caspar 资料的文学化传记。此外 Methusen 1998 是有关开普勒早年学术背景的专著，对于当时蒂宾根大学的建制、学风，梅兰希顿的教育改革，乃至德国大学系统的神学与科学教育都有详细论述。

设也错误，但它却有两点开创性意义。首先，它公开宣扬哥白尼系统，而且是建立在其基础之上：换而言之，在雷蒂库斯之后半个世纪，开普勒终于成为哥白尼第二个信徒；其次，它不仅仅以数学仿真现象，而企图对现象提出基本和物理性解释，也就是要找到现象背后的实质原因。就这一点而言，他和哥白尼之仍然秉承古希腊天文学传统并不一样：他可以说是体现现代天文学精神之第一人了。

新世纪的新天文学

《宇宙奥秘》的出版和发布使开普勒顿然跻身知名天文学家之列。数年后旧教势力控制格拉兹，开普勒被迫赴布拉格，这时第谷已经读过他的著作，并且由于梅斯特林的推荐而主动发函邀请他前来工作。开普勒在第谷手下工作实际上不足一年，其间主要是研究火星轨道。第谷去世后，他继承了“帝国数学家”职位，主要责任是在第谷所遗留天文资料基础上编纂一部可以比美《阿方索数表》的《鲁道夫数表》。然而，这计划随即遭遇极大困难，因为翌年第谷的女婿唐纳高（Franz Tengnagel，1576—1622）代表家族兴讼，从而取得所有第谷所遗留天文观测资料的保管权和使用权。经过反复交涉之后，双方终于达成和解协议，规定开普勒可以使用火星轨道资料，但相关著作必须得到唐纳高同意，确认没有违反第谷天文学观点，这才可以出版，至于开普勒本人的见解，则必须等待《鲁道夫数表》出版之后才可以自由发表。

在这苛刻限制之下，开普勒用了足足三四年时间“与火星战斗”，终于在 1606 年写成《新天文学》（*Astronomia Nova*），但为了种种原因迟至 1609 年才出版①。此书核心是著名的“开普勒行星运动定律”，即（1）行星依循椭圆形轨道绕日运行，日在椭圆的一个焦点上；（2）行星近日时运行较速，远日时较慢，其变化规律是从日至行星的连接线在一定时间内所扫过的面积为恒定。它的论证极其冗长繁复，是以复述自己研究与发现

---

① 这是开普勒两部主要著作之一，英译本为 Kepler/Donahue 1992。书中推理极其冗长繁复，科雷在 Koyré 1973，pp. 172－279 对之作了详尽分析。

历程的方式来表达，而并非如《大汇编》或者《天体运行论》那样，以清晰的逻辑结构来阐述其理论的。为什么会这样呢？主要是因为“天体运行的自然轨道必然是圆形，或者由圆形叠加组成”这具有将近两千年历史的古希腊观念太根深蒂固，不但当时与开普勒通讯的其他天文学家觉得偏离此原则是匪夷所思，就是他本人也不断有内心挣扎，多次企图回到圆形结构，最后只是由于第谷的数据十分精确，用圆形结构无论如何无法消除计算与实测之间大约4′至8′的差异，这才“被迫”到椭圆轨道那里去。开普勒将这研究过程详细展布，就是在预先回答天文学界对他这两条石破天惊新定律所必然会提出之各种质疑①。所以，需要强调，这是天文学从古代走入现代，从古希腊天文学的柏拉图偏执转向物理性原则的决定性一步，而它之所以可能，第谷的精确观测和开普勒的理论创新缺一不可。因此，开普勒认为，他们两人在阴差阳错之中居然能够结合成此大事，必然有上帝旨意存乎其间。《新天文学》所讨论的只是火星的轨道，但如开普勒所清楚意识到，其推理可以轻易推广到所有行星包括地球的轨道，所以它的规律是有普遍性的。

在这本最有原创性的著作完成后三年，开普勒就由于时局影响被迫迁往奥地利的林茨（Linz），在那里居住十四年（1612—1626）后，又复被迫迁往普鲁士的沙甘（Sagan，即今波兰的Zagań）投靠瓦伦斯坦（Wallenstein）将军。然而，这仍然不可靠，1630年他再踏上征途，终于病逝途中。事实上，开普勒后半生是在三十年战争漫天炮火的战地中心区度过，因此饱尝兵荒马乱，颠沛流离之苦，但他却仍然能够专心著述不辍。

在此期间他最重要的著作有三部，它们可以说是大致同时进行的，但完成和出版则前后相差十年。最早是1618年完成，翌年出版的《宇宙之和谐》（*Harmonice Mundi*）②，它其实是《宇宙之奥秘》的延续、修正和扩

① 此书写作过程历史和详细分析，包括开普勒为何要在书中一再缕述自己多次不成功尝试，见 Voelkel 2001，特别是 pp. 211 – 253。

② 英译本：Kepler/Aiton，Duncan & Field 1997。

充，基本上是要从几何、音乐、星占和天文学这四方面显明，宇宙在各方面的结构都有共同根源，都是根据同一和谐原理产生——它甚至提到，地球灵魂与大地会互相呼应，潮汐是“大块噫气”所生，又从行星的速度变化计算它们所产生的和音，这无疑是遥远的《蒂迈欧篇》以及多种托勒密著作之回响，也是毕达哥拉斯学派与新柏拉图主义发展的最后一座高峰——但如下文所显示，它仍然并非尾声。无论如何，这部奇特的著作对现代科学仍然极其重要，因为它提出了“第三定律”，即行星运行的周期与其平均日距的 3/2 次方成比例。不过，这极其重要的定律到底如何发现，书中却没有说明。

跟着，在 1617—1621 年间分三卷出版的，是《哥白尼天文学概要》(*Epitome astronomiae Copernicanae*)①。这其实是开普勒自己的天文学通论，它除了为哥白尼的“日心说”作有力辩护以外，还将以上的《宇宙奥秘》、《新天文学》、《宇宙之和谐》等三种著作的要义作清晰、有系统的论述。特别值得注意的是，它为上述“第三定律”提出了动力学解释，这解释的基本要素包括：驱使行星运行的是日球的磁力（这无疑是从吉尔伯特在 1600 年发表的论著得到灵感，由此亦可见当时科学发展的迅速与活跃）；磁力与速度成比例，与周期成反比，行星的重量则反之，等等。现在我们知道，这些都是不能够成立的，然而他之企图在规律背后寻求更根本原因，却正是现代科学精神的体现。《概要》出版不久就登上天主教会“宗教审裁所”的禁书名单，然而这无害于它在 1630—1650 年间风行一时，成为天文学最权威的论述，也成为半个世纪后科学革命的基石。

然后，他终于在 1624 年完成，在 1627 年出版《鲁道夫数表》(*Tabulae Rudolphinae*)——这是因为唐纳高后来完全投入政治，再也无暇顾及学术，第谷的嗣子更在 1611 年左右将全部天文观测资料托付予开普勒，授予他全权负责此事。因此，这数表是在开普勒行星运动定律的基础上编纂的，每颗行星的观测方位都必须由它以及地球在同一时刻相对于日球的位置来共同决定。它有两个超越所有其他数表的优点：首先，它并不列出行

① 其英译本为 Kepler/Wallis 1995。

星的实际位置，而只提供计算这些位置的详细法则和参数，所以是没有年代限制的；其次，它的准确性在10′左右，远远超过误差可能达到5°的传统数表。此外，它还应用对数以简化内插值的计算——开普勒在1617年初次见到纳皮尔（Napier）的有关著作，但缺乏细节，因此他自行发展了编制对数表的方法。最后，我们还应该提到，开普勒一生孜孜不倦，除了以上五部天文学著作以及多篇天文学和星占学论文以外，还有许多其他方面的论述。其中最重要的当推《天文光学》（*Astronomiae pars optica*，1604）和《折射光学》（*Dioptrice*，1611），前者讨论视差、大气折射、单孔成像观测等问题，并且初次提出斯涅尔折射定律的近似形式①，后者则受伽利略1610年所发表望远镜观测报告的启发，详细讨论透镜成像原理，并且提出双凸透镜天文望远镜构想。至于他由于偶然机缘所著的《酒桶体积之量度》（*Stereometria doliorum vinariorum*，1615）则是微积分学发展漫长过程中的一环。除此之外，他还是一个有闲趣和幻想力的学者：其《新年献礼》（*Strena*，1611）是讨论雪花何以呈六角形，从而涉及密堆积（close packing）问题的函件；1609年所著，但十余年后方才出版的《梦：月球天文学》（*Somnium seu astronomia lunari*，1621）则可视为第一部科幻小说——它想象如何登上月球，还讨论月球上所见天体运行情景。这两部作品至今还有大量读者，是毫不奇怪的②。

现代科学革命中出现了许多巨人，开普勒和哥白尼、第谷一样，在思想上仍然处于古代与现代之间，但倘若说在哥白尼和牛顿之间最重要的是开普勒、伽利略和笛卡儿等三位，那大概是没有争议的。

二、贯通天上与地下的科学

伽利略和开普勒大体同时，科学贡献也相当，但前者名声大得多。对

---

① 荷兰的斯涅尔（Snell）在1621年发现折射定律，但并没有发表；此定律后来由笛卡儿在1637年再度独立发现并发表，他曾经向梅森表示，自己在光学方面受益于开普勒最多，见DSB/Kepler/Gingerich。

② 它们有下列当代英译本：Lear 1965；Kepler/Hardie 1966。

大多数人来说，伽利略伟大，因为他是科学与宗教冲突的象征，是为真理受迫害的典型。这观感很自然，但也不幸，因为这光环使人忘记，他对科学的最重要贡献其实并不是为哥白尼辩护（那开普勒做得比他更早、更切实，虽然不那么戏剧性），而是利用望远镜把人类视野扩展到地球以外，以及向新动力学原理踏出第一步。但历史舞台需要抗争与戏剧来吸引观众目光，因此这观感偏差大概是不可避免的。

锋芒初露的少年学者

到了伽利略（Galileo Galilei，1564—1642）的年代，文艺复兴、希腊热潮和代数学大突破都已经过去，“反宗教改革”运动则日益高涨，但过去的辉煌岁月尚未曾在记忆中磨灭，而且还不时地在他经历中发出闪烁①。他来自佛罗伦萨音乐与医学世家，父亲精研乐理。他自己出生于比萨（Pisa），少年时代就读修院学校，曾经径自决定作修士而被父亲阻止，其后进比萨大学习医，又不感兴趣，于是从弱冠之年开始跟随泰特利亚的弟子里奇（Ostilio Ricci，1540—1603）学习数学。里奇是佛罗伦萨宫廷数学家，他倾向应用数学，是该城建筑学院院士，这对伽利略日后可能有相当重要影响。他学业进步很快，因此得到恩师向父亲说项，在经过三年（1583—1585）修习之后离开大学，回到佛罗伦萨自修，同时以教授私人学生、开设讲座等方式谋生。其后大概受可曼迪诺影响，他开始研究抛物旋转体的重心，并且因此见知于圭多波度，即满蒂子爵（Guidobaldo Marchese del Monte，1545—1607）。

圭多波度和泰特利亚一样，也是弹道学家。他出身乌尔比诺世家，父亲军功卓著，因此受封成为贵族；他自己在帕多瓦大学毕业，曾经从军赴匈牙利参加对奥图曼帝国战事，其后袭爵退居祖传庄园，跟随可曼迪诺研

① 伽利略的标准传记是 DSB/Galilei/Drake 的综述，以及德雷克的《伽利略在工作：他的科学传记》即 Drake 1978；McMullin 1967 是一部有系统地从多个不同方面来论述伽利略的专集；Shea 1972 专门讨论伽利略在中年（1610—1632）的思想变革，特别是他如何从阿基米德信徒蜕变为新时代科学家；至于 Golino 1966 则是纪念伽利略诞生四百周年的论文集。

习数学，成为他有数的弟子。圭多波度深研天文、数学、力学、光学，在1577年著成《力学》（*Liber Mechanicorum*）一书，以追求古希腊的严格为能事，一时声名无两，但这无疑与时代精神背道而驰。另一方面，他在透视法、光学、比例尺、军事科学等实用领域大有贡献，弹道学研究尤其出色①。他对伽利略这位后辈十分赏识，可以说是提携不遗余力。1588年圭多波度初次推荐他出任博洛尼亚大学数学教授，但不成功，翌年再接再厉，推荐他去比萨大学，终于为他谋得正规教职。但他在比萨薪水微薄，和文学院同事、大学主管以及城邦权贵都相处得不好，因此两年后转而申请帕多瓦大学空缺，并且在圭多波度一力推荐下再次成功。帕多瓦薪俸较丰，学术气氛也浓厚，而且他在此相熟朋友众多，顿然如鱼得水，故此前后逗留了足足二十年，即从27岁至46岁这段黄金岁月。他学术上的原创工作大多数是在此期间完成。

在比萨大学期间，伽利略超脱流俗的个性开始显露：他在讲学中高姿态反对甚至嘲笑亚里士多德；至于在比萨斜塔上释放不同重量铅球以证明其同时坠地也是此时所为，但倘若实有其事，则应该是示范而非实验。他90年代的著作《论运动》（*De Motu*）可能是一部教学讲义，它“问题意识”尚未脱离亚里士多德《物理学》、《论天》的框架，但整体方向是通过数学、假想实验和其他论证来驳斥亚里士多德的谬误，例如运动必然可分为“自然”与“受制”的两类，无限延续的运动必然导致无限大速度，抛掷物在上升阶段是受空气推动，在真空中物体运动会变为无限快速，等等②。和开普勒《宇宙奥秘》一样，此书也属未成熟的“少作”，但自有“刀刃若新发于硎”的锋锐与明快。而且，在许多问题（例如加速下坠和抛掷体问题）上，它已经显示日后重大发现的端倪。稍后完成的另外一种讲义《力学》（*Le meccaniche*）篇幅较短，它讨论斜板、杠杆、滑轮、螺旋等机械问题，特点是提出“无限小力”（infinitesimal force）观念，并

① 圭多波度在 Rose 1975，Ch. 10 有专章论述。

② 《论运动》原著只有稿本，它与《力学》有下列合并出版的英译本：Galilei/Drabkin & Drake 1960。

讨论在没有摩阻力情况下此力所会产生的运动①。在随后十年间（1600—1609）伽利略继续力学和运动学研究，并且在有关摆锤（pendulum）运动、圆弧上的落体运动、斜板上运动，以及等加速度中行距的增加等问题上取得进展，但这些探索并无决定性结果，只是在与圭多波度、萨尔皮（Paolo Sarpi，1552—1623）、瓦莱里等同行的通讯中讨论②。他在1609年开始撰写系统性论著，但却为更有魅力的新工作所打断。

望远镜中的新世界

在力学以外，天文学也是伽利略关心的领域，而且他在这两个领域的兴趣经常互相干扰。1597年他初次在与比萨旧同事的通讯中为哥白尼天文系统辩护；随后接到开普勒寄赠《宇宙奥秘》，即回信表示欣赏和赞同哥白尼，但对开普勒后来建议他公开支持哥白尼，则始终未作反应。倘若记得布鲁诺在1600年的悲惨命运，他这迟疑显然不为无因。1604年天上出现璀璨新星（其实是颗超新星supernova），这提供了反对亚里士多德的大好机会：他就此作了三次轰动帕多瓦的公开演讲，驳斥亚氏所谓地球以外的天体恒久不衰（incorruptible）之说。翌年他为自己在1597年所发展、监制和出售的比例尺（proportional compass）发明权问题兴讼，得胜之后更出版自辩说明此事始末。

但这些小成功都远远不能够与望远镜带来的兴奋与声望、地位相比。望远镜最早是荷兰磨镜师利普尔黑（Hans Lipperhey，约1570—1619）在1608年发明，消息迅即通过萨尔皮以及在巴黎另一位朋友传到伽利略耳中，他翌年8月就依法制成了有九倍放大率的望远镜，年底更通过不断改良制成达到30倍放大率的所谓“伽利略型”（即物镜和目镜分别为凸透镜和凹透镜的组合）望远镜。把这崭新的奇妙仪器指向天际之后，他见

---

① 此书在1593－1600年间完成，前后有三个不同版本。它以意大利文撰写，在伽利略生前仅以无名稿本形式广泛流传，但很早就翻译成英文（1626）和法文（1634，译者是梅森）印行，其当代译本同上注。

② 萨尔皮是对科学有极其浓厚兴趣的修士，自1592年认识伽利略之后便成为热心论学的朋友；至于瓦莱里（见前节）则是在1590年访问比萨的时候结识伽利略。

到了不可思议的景象：月球表面并非光滑，而是山峦起伏；银河由无数个别恒星组成；木星有四颗卫星；此外天上还有大量前所未知的恒星，等等。这些都是古人所绝对未曾梦见，更非亚里士多德理论所能够解释的新事物。伽利略在两个月后即1610年3月出版《星际信使》（*Sidereus nuncius*）报道这大发现，此书以及其中所载从望远镜中所见月球景象（图版11）在全欧洲所引起的思想冲击、震动，恐怕只有一个多世纪前哥伦布发现新大陆差堪比拟，而他的发现恐怕还有过之而无不及①。

他的声望因此迅速上升至巅峰：当年夏季他辞去帕多瓦大学教职，应邀返回佛罗伦萨出任大公爵的宫廷数学家与哲学家，以及比萨大学不带教职的终身数学教授；开普勒立即发表了两种著作称许他的发现；1611年初伽利略更前赴罗马展示他的发现，并赢得教皇、多位枢机主教和耶稣会修士的认可和敬重，又被推选为“科学协进会”会员。与此同时，他的天文观测也续有进展：在1610年底，他发现金星也像月亮一样有盈亏，这应验了哥白尼“日心说”的一个推论；他又发现土星光环，但误为是极其接近土星的卫星，而这和木星的卫星一样，都是直接抵触“地心说”的。1613年他在“科学协进会”赞助下，于罗马发表《日斑书简》（*Sunspot Letters*），以公开出版的形式，旗帜鲜明地宣扬哥白尼学说，提出惯性和角动量守恒观念，并宣称日斑为自己首先发现，令原来发起这讨论的耶稣会士深心不忿。显然，他感到地位已经稳固，可以畅快地提出自己的主张，再不必瞻前顾后了②。

冲突与悲剧

然而，他与佛罗伦萨好些学者本来就有嫌隙，他如日中天的声望、地位使他们嫉妒更甚，《日斑书简》授人以口实，于是就成为1613—1616年间对他第一轮攻击的导火线。这开始于1613年底佛罗伦萨一个宫廷宴会

---

① 《星际信使》有下列英译本：Galileo/van Helden 1989，此书并附有译者的导言和总结，对伽利略此大发现的背景以及其为欧洲学界接受的过程详加论述。

② 有关伽利略与“科学协进会”的关系，特别是该会对他与保守教士之间争端所起的推波助澜作用，见 Freedberg 2002，Ch. 3－5。

上有人指责伽利略观点有违教义。由于他本人并不在场，他的学生卡斯泰利（Benedetto Castelli，1578—1643）起而为乃师辩护，事后伽利略为此写长信给他，宣称以教义干涉纯粹科学问题并不恰当。这事件引起了一连串后果。首先，1614 年底一位年轻的多米尼加修士在讲道中开火，猛烈攻击伽利略和他的派系，乃至所有数学家。随后伽利略致卡斯泰利函件辗转传到罗马，“宗教审裁所”因而展开调查。得知这消息后伽利略深恐信件被窜改，所以自行将正本送去，到了 1615 年底更不顾劝告，决定亲赴罗马申诉。由于敌人众多，他此行一度陷入危险，幸而得到相识多年的枢机主教贝拉敏（Cardinal Robert Bellarmine，1542—1621）一力回护，方才未曾遭到严厉对待，其书籍也没有遭到禁止，事后甚至还蒙教皇接见和温言相慰。然而，他却被勒令此后不得再坚持或者宣扬“地动说”——这就为他日后受审判埋下了伏笔。事实上，这命令以后成为普遍性禁令，开普勒的《哥白尼概要》就是据此被禁。在 1616 年中回到佛罗伦萨后，他被迫放下宇宙系统论争，回到天文学的实际应用和力学上去。

对伽利略的第二轮攻击已经是十七年之后，他年近古稀时候的事情了，但原因则可以追溯到他回佛罗伦萨之后不久。如上一次攻击一样，这也是由天文学现象所导致的派系恩怨所触发：1618 年出现的三颗彗星引起大量讨论，耶稣会修士格拉西（Orazio Grassi，1590—1654）为此在罗马发表演讲，将之视为对哥白尼学说的反证。伽利略的助手圭都奇（Mario Guiducci，1585—1646）① 在他授意和指导下作了连串演讲并发表《论彗星》（*Discourse on comets*），不点名地批评了格拉西多处错误，后者因此在翌年以化名发表《天文学天平》（*Libra Astronomia*）直接攻击伽利略。几经迟疑和商量之后，伽利略终于在 1621 年以通讯方式撰写《测试师》（*The Assayer*）加以反驳，其中除了讨论具体观测问题以外，还特别强调物理本质与其所产生表观现象的差别，又提出大自然只能够通过数学

---

① 圭都奇本是律师，曾经在罗马学院和比萨大学就学，后来因为跟随卡斯泰利，遂转向数学，在 1618 年更成为伽利略的助手，同年被选为佛罗伦萨学院院士，1623 年更被推选为科学协进会会员。

了解，以及自然的探究不能诉诸权威等基本原则。此书在1623年获审裁所批准，由科学协进会出版。通过这连串对抗，他与罗马相当一部分耶稣会士之间的势同水火就不言而喻了。

但对伽利略来说，1623年却像是个令人兴奋的转折点：不但《测试师》顺利出版，而且有两位原籍佛罗伦萨的亲近好友进入权力高峰：向来与他亲善的枢机主教巴尔贝里尼（Maffeo Barberini，1568—1644）膺选教皇，成为乌尔班八世（Urban VIII），这位教皇的侄子弗兰切斯可·巴尔贝里尼（Francesco Barberini，1597—1679）是曾经师从伽利略门生卡斯泰利的，这时又被叔父提拔为枢机主教。换而言之，罗马似乎已经成为"伽党"世界。因此翌年伽利略专程前赴罗马祝贺乌尔班荣升，并且要求批准出书讨论哥白尼。教皇与周围的枢机主教对此都认为没有问题，只是要求他讨论不同宇宙系统的时候保持客观与平衡而已。然而，当时贝拉敏已经去世，他又完全没有提及1616年的禁令，从而种下祸因。以后的不幸发展与冲突现在是众所周知的历史了：他花了六年（1624—1630）工夫写成《关于两个主要世界系统的对话》（*Dialogue Concerning the Two Chief World Systems—Ptolemaic and Copernican*）①，它表面上对托勒密和哥白尼的学说持平，实际上自然是提出充分论据支持后者。此书在罗马得不到批准，只能转到佛罗伦萨在1632年2月出版。当年10月他为此被勒令前赴罗马受审，主要原因是被认为隐瞒了1616年的禁令，而且教皇乌尔班为人说服，书中不学无术的亚里士多德学者所影射的正是他自己。审判在1633年4月举行，定罪自所难免，但他只是承认了经双方协议的轻微过失。然而，由于乌尔班的怨恨，处罚却相当严厉：下跪认罪、终身监禁、《对话》（*Dialogo*）一书被禁，等等。不过，由于巴尔贝里尼枢机主教一力从中斡旋和回护，实际处理方式还算宽松：他不但免于受刑，而且终身监禁迅即改为软禁，实际上是交予同情他的大主教为座上客，大约半年后便获准返回佛罗伦萨附近的别墅度过余年。

伽利略事实上是非常虔敬的教徒，而且和许多教会上层人物关系密

---

① 此书有下列现代英译本：*Galilei/Drake* 1967。

切，因此双方的历史性冲突无疑是个悲剧。就伽利略而言，自恃与教皇过往关系是小悲剧，深信教会的明智与公正是大悲剧；就教会而言，虽然它的领导阶层有那么多开明人士，却仍然错过对科学采取开放态度的机会，则无疑是更大悲剧。但这恐怕是由罗马天主教会本质与组织方式所决定，而并非偶然的了①。

力与运动的研究

在伽利略漫长的一生中，天文学研究与主张使他成大名，也令他蒙大辱；地上物理学即力与运动研究不那么受注目，但这才是他的真正关怀，也是他做出最重要贡献的领域。

现在我们知道，和亚里士多德所宣称的相反，天上与地下并没有不同的自然规律，天文学和物理学是分不开的。这个可以称为“通天人之际”的认识要到牛顿方才得以完成，但却是以伽利略为开端。他所作 1610 年望远镜观察产生的最大震撼就是月球表面并非想象中的光滑无缺，而是如地表之峰峦起伏，以及其他行星也和地球一样有自己的卫星系统。因此，在 1613 年的日斑讨论和 1623 年的彗星讨论中，他引进了惯性和角动量等地上物理学观念。1632 年的《对话》是这些讨论的初步总结和系统性论述：为了支持哥白尼系统，它必须先提出有力论据来克服反对“地动说”的传统理由。特别是，它必须解释何以垂直抛向高空的物体仍然会落在原地，而不是被快速运动中的地球“留在后面”，这自然就牵涉抛射体的物理学，而必须用到惯性和角动量观念。现代物理学中所谓“伽利略不变性”（Galilean invariance）是指经典力学定律不会因为空间坐标系统的等速运动而有所改变，那就是由他所提出的“惰性”观念而来。

不过，他这勇敢的观念跃进虽然方向正确，却有如砂石俱下的滚滚洪流。例如，在书中伽利略并没有注意到，开普勒远在二十多年之前就已经

① 对于伽利略与教会的冲突，佛罗伦萨史专家史宾尼指出，这在很大程度上反映了佛罗伦萨城邦统领阶层的内部分裂与斗争。见 Giorgio Spini，“The Rationale of Galileo's Religiousness”，in Golino 1966，pp. 44 –66。

证明，行星轨道是椭圆而非圆形，却仍然抱着传统“自然运动”观念，认为天体的“自然圆周运动”在地上同样存在。此外他又提出，倘若地球静止不动则潮汐现象不可解释，这固然有道理，但他所提出的潮汐产生机制则完全错误——事实上，潮汐成因是颇为微妙的动力学问题，要到牛顿才能够得到正确解答。

动力学研究贯穿伽利略整个学术生涯，它经历了最少四个不同阶段。首先，是平静的二十年教授时代（1589—1609），其间他完成《论运动》和《力学》。这时期为望远镜带来的大名和《日斑书简》引起的攻击打断，直到七年后他从罗马回到佛罗伦萨，这才得以恢复平静，迎来长达十六年（1616—1632）的第二阶段潜心研究。在1617—1618年间他初次在一篇手稿中清楚地定义等加速运动，并且在学生圭都奇所撰写的手稿中讨论了许多运动学问题。但这再次为彗星论争所打断，以迄乌尔班批准他写书，那是他专心撰述《对话》的第三阶段（1624—1630）。罗马受审和返回佛罗伦萨之后不久，他开始撰写《关于两种新科学的讨论和数学证明》(*Discourses and Mathematical Demonstration Concerning Two New Sciences*)①。由于第二阶段所准备的手稿已经奠定基础，这最后阶段工作在大约一年后就完成。但它的出版困难重重，最后是将手稿偷运到法国，再转运到荷兰，这才得以在1638年出版。当时伽利略已经失明，幸得学生维维安尼(Vincenzio Viviani, 1622—1703）随侍左右，以及托里拆利常来探视。他四年后黯然去世，教皇甚至不准为他立碑。

《新科学》分为两部分：前半部分讨论物性学，特别是物质的凝聚力和强度，包括同样物体“放大”之后所会产生的结构问题；后半部分讨论物体运动，这是更基本和重要的部分。它首先有系统和详细地定义位移、速度、加速度、等加速度，并且以多种实际方法，包括示范，来解开两千多年来一直困扰西方心灵的各种“芝诺悖论”，也就是认真面对“无限”的问题。在此基础上他进一步详细讨论了自由落体、钟摆、抛掷体，以及斜板上滑落体等各种运动，并且提出：在直交方向的

① 此书有下列英译本：Galilei/Crew & Salvio 1952。

两种不同速度（就抛掷体而言，这是沿水平方向的等速度和沿垂直方向的等加速度）相叠加的原理。倘若和牛顿经典力学相比较，那么这书显然已经从中古的“摩尔顿规则”过渡到以初步微积分方法来描述、分析运动的现象；并且已经发展出惯性观念，以及提出第一和第二运动定律的初步（而还不是普遍）形式和简单应用了。在这个意义上，它无疑是为科学革命的最后突破奠定基础，此后惠更斯（Huygens）和牛顿都是以他建立的原则为出发点而继续前进的。

三、高涨的科学思潮

17 世纪上半叶是欧洲进入现代的关键时刻：经过三十年战争与清教徒革命，宗教与世俗权力的结合开始解体，王权与民权也找到新的平衡点；同时，汇集多股思潮，包括代数学、解析学、天文学、力学、运动学以及实验科学所形成的科学运动进入高潮，显示出科学意识抬头和根本变化即将来临的朕兆。这些发展如何交互影响，融合成为浩荡大流，是以下数节所要讨论的。

科学运动的旗手

我们所谓的科学运动或者思潮，是泛指科学家对他们自身群体和工作的一种共同自觉、意识、看法，乃至主张，这在 17 世纪二三十年代从多个不同方面表现出来。但它究竟是由长期累积所产生，抑或是个别事件所触发，却是不容易回答的问题。就个别事件而言，伽利略于 1610 年描述望远镜中所见天外景象的《星际信使》是最自然的答案，因为它毫无疑问地对整个欧洲知识界产生了猛烈冲击与震撼，而科学运动之高涨，恰恰就是从 17 世纪 20 年代开始。

然而，就科学运动最早的大旗手培根而言，这个答案是否正确却不能完全无疑。弗兰西斯·培根（Francis Bacon，1561—1626）出身英国世家，父亲曾任掌玺大臣。他在剑桥三一学院毕业后执业律师，随即步入政坛，至斯图阿特王朝（The Stuarts）赢得王室宠信，高升枢密大臣，并晋封子爵，但不久即以受贿蒙羞，退隐著述——并且在此时期陆续写出传

世的主要作品，如《新工具》（*Novum Organum*，1620）、《论知识之进步》（*De augmentis scientiarum*，1623）、《新大西洋城》（*New Atlantis*，1627）等①。如所周知，培根是最朴素和理直气壮的科学主义者，主要宣扬、呼吁以下三点。首先，从传统（特别是亚里士多德）、口耳相传或者臆度、想象而来的知识都不可靠，必须大力和彻底扫除；其次，真正的知识只能够通过实际观察、实验得来；最后，政府因此应该大力鼓励、推动、资助科学研究，以造福社会和人类，因为“知识就是力量”。他这些议论在生前并不受注意，但从17世纪40年代即清教徒革命开始，则日益为人重视，从“皇家学会”的成立，以至玻义耳、牛顿等的实验科学精神，都可以说与他的影响有关②。

不过，培根虽然是科学主义者，却与同时期科学家没有交往，对于数学和当时最新进展更缺乏了解。如多位学者所指出，他对科学的观念其实是通过古希腊的原子论以及16世纪魔法传统（特别是上一章提到的狄约翰）得来③。因此，他很鲁莽地反对哥白尼，认为其天文系统出于臆造，甚至也批评他所欣赏的磁学家吉尔伯特（William Gilbert），认为其理论超过了实际观察。当然，伽利略的望远镜观察符合他所倡导的实验精神，在《新工具》中他也详细地讨论了科学仪器应用的问题，但我们却无法排除，在他的思想之中，魔法传统反而占更重要地位。

欧陆的理想主义

至于在欧洲大陆，对科学运动贡献最大的，无疑要推法国的梅森和笛卡儿。梅森（Marin Mersenne，1588—1648）出身穷苦，青年时期在免费

---

① 《新工具》是培根计划中但未完成的《科学之大复兴》（*The Great Instauration of the Sciences*）之第二部分，此两者有下列英译合本：Bacon 1960；《新工具》与《论知识之进步》有下列英译合本：Bacon 1900；《论知识之进步》与《新大西洋城》有下列英译合本：Bacon 1951。

② 培根大半生居住伦敦，那可以视为在十六七世纪之间酝酿科学思潮的渊薮。由于本书重点不在医学、化学、自然史等方面，因此未曾就此多所论述。有关伦敦的科学热潮，见Harkness 2007。

③ 见DSB/Bacon/Crombie & North。

的耶稣会书院受教育，后来进巴黎大学研习哲学和神学，毕业后加入敏尼姆修会（The Order of the Minims），1616 年当选巴黎皇家广场修院院长，此后三十余年间未曾再离开，以迄去世。他爱好数学，从 17 世纪 20 年代中期开始与许多数学家通讯，并且热切招待来访学者，使修院一时成为欧洲学者聚集研讨，来往讲学的中心，例如伽桑狄（Pierre Gassendi，1592—1655）、霍布斯（Thomas Hobbes，1588—1679）以及下面要提到的笛卡儿、罗贝瓦尔（Roberval）、费马（Fermat）、帕斯卡（Pascal）等等都是常客，以致修院得到了"巴黎学院"（*Acadèmie Parisiensis*）乃至"梅森学院"（*Acadèmie Mersenne*）的美誉。梅森本人在科学上也有多方面建树，他以提出"梅森素数"（Mersenne prime）问题①知名，又是最先从科学出发，直接攻击赫墨斯—魔法传统，从而为理性世纪正式揭幕的人。他以数学为了解大自然的关键，而且在经过一度犹豫之后，成为伽利略热心和坚定的支持者，在 1634 年还从不同高度释放重物，通过测定其坠地时间来检测伽利略落体所经距离与时间平方成正比的定律。然而，他的宗教思想却十分保守和接近传统②。

当然，受梅森鼓励、提携，但在数学和哲学上都重要得多的，是笛卡儿（René Descartes，1596—1650）③。他出身法国贵族，年轻时就读的耶稣会学院和梅森相同，在数学、物理学（包括伽利略的最新学说）、哲学等各方面都受过优良教育，其后在普瓦提尔（Poitier）大学法学院毕业，随即到荷兰莫里斯亲王麾下参军（1618—1619），同时师从斯特文的学生贝克曼（Isaac Beeckman，1588—1637），深受教益。此后十年间（1619—1628）他遍游德国、波希米亚、匈牙利、意大利、法国、荷兰各地，并且参加梅森的学会，与欧洲知名学者往还，最后则选择回到荷兰定居，潜心研究，前后达二十余年（1628—1649）。在此时期荷兰学术气氛颇为浓厚，斯特文和发现折射定律的莱顿数学家斯涅尔（Willebrord Snell，

---

① 所谓梅森素数即 $n=2^p-1$（p 为素数）形式的整数，它是否素数就是梅森问题。

② 有关梅森科学思想的复杂性，见 Dear 1988，特别是 Ch. 4-6，那分别讨论他在思想上与亚里士多德、奥古斯丁和伽利略的关系。

③ 见 DSB/Descartes/Mahoney。

1580—1626）建立了优良传统，贝克曼也仍然活跃，后来还有光学家惠更斯（Huygens）出现①。在此环境中笛卡儿自然如鱼得水。不幸的是，当地加尔文教会在思想上亦非常保守，从 17 世纪 40 年代开始对哥白尼、伽利略和笛卡儿的思想日渐有强烈反应，最后促使他应瑞典女王之邀远赴斯德哥尔摩，却因为改变了晚起的习惯，又不耐严寒，竟以肺炎客死异乡。

笛卡儿的毕生力作是 1637 年发表的《方法论》，他在此书中所提出的思想，可以说在很大程度上已经预见现代科学的精神与结构，即有关自然界的真正知识必须从毫无疑问的基本原理出发，然后以严格的数学推断出来。在这样的系统中，亚里士多德的“目的论”，亦即生命的“自主性”是完全没有地位的（具有灵魂的人自然不在其例），它因此被称为“机械世界观”（mechanical philosophy）。但笛卡儿亦致力于自然界观察，并且意识到只有牵涉空间的“运动”可以用数学处理，因此也最根本。如所周知，他对科学的最大贡献是解析几何学（analytical geometry）的发明，这是在《方法论》三个附录之一《几何学》所首先提出来的。《几何学》所讨论的，主要仍然是泊布斯和丢番图的古老问题，但它引入了我们今日熟悉的坐标系统（包括直角和非直角坐标），从而将线条视为其上每一点都符合某种空间数量关系的轨迹，由是将几何学问题改变成为代数学问题。他又引入现代数学符号以及运作方式，并且用 x，y 等字母代表未知线段，用 a，b，c 等字母代表已知数量，从而大大地简化了代数问题的解决。这在数学的现代革命过程中是具重大意义的决定性一步，因为从此数学思考的重心就从几何学的“形”转移到代数学的“计算”上去。他又在 1644 年出版《哲学原理》（*Principles of Philosophy*），提出对力学原理和宇宙结构的具体看法，这将在下面第七节讨论②。

培根和笛卡儿是 17 世纪科学思潮中两个隐然对立阵营的代表人物：培根轻视数学，以观察、实验、类型学和归纳法为尚，倾向近于博物学

---

① 有关 16 世纪上半叶的荷兰学术文化发展，见 Israel 1995，pp. 565－591。

② 《方法论》有许多不同英译本和中译本，兹不具引；《几何学》共三章，篇幅不长，它有下列与第一版原文对照的英译本：Descartes/Smith & Latham 1954，从中可以清楚地看到此著作的原貌。至于《哲学原理》则有下列英译本：Descartes/Miller & Miller 1983。

家；笛卡儿从理性精神出发，认为通过自明的基本原则和推理就可以了解世界，倾向近于数学家。这两种思想各有偏失，它们的局限到牛顿的《原理》发表才显露出来。

科学对魔法的冲击

科学思潮令科学家产生属于一个共同体的自觉，这自然地导致了对相关但基本上不相同的群体，例如魔法师的排斥。事实上，这发生于《星际信使》出版之后不久，它成为赫墨斯传统衰落的转折点。此事件好像出于偶然，而且表面上和科学并没有直接关系，但底子里则可以说是科学精神波及于人文研究的先声。在 1614 年，为了反驳天主教对新教的攻击，一位归化英伦教会的古典学者卡索邦（Isaac Casaubon，1559—1614）出版了《圣徒与教会史驳论》（*De rebus sacris et ecclesiasticis exercitations XVI*），此书通过详细词汇和语法分析，以及文本内容的比较，来证明《赫墨斯经典》不但不可能写成于摩西年代，而且必然晚于耶稣的时代——也就是说，它其实是受基督教思想影响的！这样，实际上就把赫墨斯信仰的历史基础，以及由此而产生的理想性和魅力摧毁。此后不久，以科学精神守护者自居的梅森更奋起发表《创世记的问题》（*Quaestiones in Geneism*，1623）这部巨著，进一步对活跃于 16 世纪的整个魔法传统，包括新柏拉图主义、赫墨斯主义、卡巴拉法术、星占术等等加以深入分析，然后展开全面猛烈攻击。这触发了英国赫墨斯学者、宗教家弗卢德（Robert Fludd，1574—1637）与梅森及其“战友”伽桑狄在 1623—1630 年间的一场激烈论战。它的细节不必在此深究，重要的是，这学术气氛的基本转变，导致了科学与赫墨斯主义和魔法在前此一个世纪之久的“联盟”（这是耶茨的论题，详见 § 11.6 的讨论）逐渐瓦解，自此魔法、巫术和星占术等在学术界失去影响力乃至正当性，因此进入漫长的衰落①。

---

① 有关卡索邦的发现以及梅森—伽桑狄—弗卢德论战，见 Yates 1964，Ch. 21 - 22 以及 Dear 1988，pp. 109 - 116。关于魔法从 17 世纪中叶开始在英国衰落的原因，见 Thomas 1971，Ch. 21 - 22 的讨论。

与此同时，赫墨斯主义亦开始退潮，但它渊源悠久，思想精妙，因此虽然受到打击，但仍然有生存空间。它在17世纪之初以神秘的“玫瑰十字教派”（Rocicrucianism）形式在德国和英国发展，一度声势浩大，日后更以“共济会”（Free Masons）形式传播到全世界。17世纪下半叶兴起的“剑桥柏拉图运动”（Cambridge Platonists）基本上仍然以费齐诺的“本始神学”为核心——不过它接受卡索邦的论证，不再以赫墨斯经典为根据了。牛顿就深受此运动影响，故此而有“本始几何学”（*prisca geometria*）亦即“本始智慧”（*prisca sapientia*）的观念，认为他自己的大发现其实是“再发现”（rediscovery）。

17世纪科学家与魔法决裂，那么他们对于同样是以“神示”、“神迹”为至终基础，而且在实际行动上严厉压制过著名科学家的基督教又如何，是否也同样在态度上出现基本变化呢？这却不然：简而言之，基督教理念在西方是如此根深蒂固，源远流长，它的组织、文化与整个社会又是如此水乳交融，混为一体，所以任何个人或者群体都是完全在其意识笼罩之下，以至任何观念上的疏离、反叛都是不可想象，也无法萌生的。因此，毫不奇怪，17世纪学者从培根、梅森、笛卡儿、费马以至玻义耳、牛顿，都还完全是虔诚的基督信徒，甚至同时也可能是教士、神学家。他们的基本态度可以称为“并存主义”，即宗教是基于“神示”的信仰，哲学是基于理性的探究，科学是后者一部分；信仰与理性并无冲突，可以并存不悖——甚至，通过理性所发现的自然规律是足以显明上帝能力之伟大、奇妙，而这是科学价值所在。这种二分态度到17世纪末方才发生微妙转变，产生所谓“自然神学”（Deism）。至于哲学家终于摆脱宗教的束缚与魅力，而敢于从理性和科学出发，堂堂正正地对基督教发动直接、公开的猛烈攻击，将之定性为“希伯来迷信”，则是18世纪30年代“启蒙运动”时候的事情，那上距梅森对魔法的攻击已经足足一个多世纪，在牛顿《原理》出版之后也半个世纪了。

四、挑战“无限”的大军

到了17世纪维艾特、斯特文、瓦莱里等的解析学工作就蔚为洪流了：它处处涉及令人困扰的“无限”观念，故而构成巨大挑战，从而吸引大量数学家钻研，其中最知名的就不下十数人之多。他们往往只将工作成果以手稿形式流传而并不出版，因此发现的先后以及相互影响关系很难清理，牛顿和莱布尼兹之间谁先发明微积分的争讼就是因此而起。我们不可能详细分析这个过程，而只能够提出几位主要人物及其最突出贡献而已①。但有一点是首先需要强调的：即使在17世纪中叶，许多数学家仍然深受古代几何学影响，即他们一方面力图创新，另一方面则自觉是在延续古希腊传统。特别是，发明了“流数法”即微积分学的牛顿，在建构古典力学系统亦即撰写《自然哲学之数学原理》之际，所应用的还是被称为“综合法”的几何论证方式，而并非流数法。这下文还要谈到。

意大利的“不可分元素”法

在17世纪继续斯特文和瓦莱里分析学传统的，当以开普勒在1615年所作《酒桶体积之量度》为最早。他此书所用其实仍然是“无限小元素”（infinitesimals）法，例如将圆球体积分为无数极细小，同以球心为顶点，以球面上一小圆形为底的圆锥体，其体积是球半径乘底圆形的1/3；此等圆锥体体积之和显然接近球体积V，那就可以视为等于球半径R乘球面积$4\pi R^2$的1/3，即$V = 4\pi R^3/3$。这方法可以广泛应用到更复杂、古人所未曾讨论过的问题上，例如：圆环的体积；以弦截取圆的一部分，并将之围绕此弦旋转所形成的苹果形或柠檬形立体之体积；以相同方法从圆锥曲线所产生的立体之体积，等等。这方法的优点在于非常有力，可以处理许多问题，要害则在于，它仍然是基本观念不明，理据不清，无法作更清晰严格的论证。所以，此书提出了发生极大影响的新方法，观念上却并无

① 有关这方面的整体讨论最扼要的是 Boyer 1959，Ch. 4。

进展。

至于伽利略，则从大约1617—1618年开始对加速度、速度与位移三者关系作深入思考与研究，其结果后来在1638年的《新科学》发表。但他的讨论虽然比较仔细，基本观念却仍然未能超越库萨、奥雷姆和“摩尔顿学派”，而比之瓦莱里的朴素极限观念还有所倒退。例如，他意识到运动体所行经距离即位移S、其（变化中的）速度v，以及其所经历时间t，三者之间的关系，然而只是粗略地将速度—时间曲线以下面积，亦即函数v(t)曲线与时间轴t之间的面积作为位移S，而并没有论证何以是如此；也没有说明“瞬间速度”在数学上如何定义。另一方面，他利用众所熟悉的物理现象（例如重物坠落不同距离之后能够将尖木杆撞击入地的不同深度）来说明落体自静止以至高速坠落的连续变化过程。换而言之，他的思考方式是具体和物理性的，而非抽象和数学性的。

在数学上，伽利略的重要性在于他的传人，其中最重要的是卡瓦列里（Bonaventura Cavalieri，1598—1647）。他本来是耶稣会教士，由于遇见卡斯泰利而研习数学，并且通过他认识伽利略，后来更得到伽利略大力推荐，在而立之年成为博洛尼亚大学数学教授，并于1635年发表《不可分元素的几何学》（*Geometria indivisibilibus*）。此书所要解决的，基本上是面积、体积的计算，基本策略就是利用“不可分元素”：这在面积中，是指等距并行线，不同面积可以用这些并行线之和来比较从而间接“量度”之。至于体积，则也可以用等距平行面作为“不可分元素”来量度；甚至这些并行线长度的n次方之和也同样可以用相类方法计算。他由此在1639年得到了相当于下列普遍积分公式的结果：$\int^{a} x^{n}dx = a^{n+1}/(n+1)$，其中n是任何正整数——虽然他只为n从1到4作了完整证明。此外，他还用同样方法证明相当于“导数中值定理”（mean value theorem of derivatives）的结果①；以及下列体积定理：倘若两个体积等高，而且在同高度的截面

① 此定理为：倘若函数f(x)在间距a<x<b内为连续与处处可微分，则间距内必然存在ξ，以使在ξ点的导数$f'(\xi)=[f(b)-f(a)]/(b-a)$。

积成固定比例，那么体积的比例亦同此比例。“不可分元素法”的突破和优势在于它和解析几何一样，将千变万化的几何问题转化为机械性的代数运算，这就带来无穷的便利和力量。不过，此法无论观念或程序都仍然充满自相矛盾和不确定性（例如以线作为面积元素），所以虽然风行一时，却也饱受攻击。这是微积分学蹒跚向前的一步①。

伽利略的另外一位传人是托里拆利（Evangelista Torricelli，1608—1647）。他和卡瓦列里一样，也出身耶稣会学校，后来到罗马投奔卡斯泰利，并且成为他的秘书，更因此得以和伽利略接触，在这位伟人临终前三个月成为随侍在侧的助手。由于这一机缘，在伽利略去世之后他得以继承佛罗伦萨宫廷数学家和哲学家职位，潜心学术研究，并和欧洲学者频繁通讯论学。不幸的是，五年后他得了可能是伤寒的急症遽然去世，终年还不及四十。托里拆利在物理学上以空气压力的研究知名，但他在1644年出版的《几何学》（*Opera Geometria*）对于微积分发展也有重要贡献，这主要在于将“不可分元素法”延伸到更复杂的计算，例如正多角形围绕其一边旋转所产生立体体积；旋轮线（cycloid）和地平线所包面积；双曲线围绕渐近轴旋转所产生立体的一截之体积；乃至形式为 $x^m y^n = c^n$（其中 m，n 为不同正整数）之广义双曲线围绕渐近轴旋转所产生立体之体积，等等。为此他甚至应用弯曲不可分元素（例如圆弧或者圆柱面）的方法。此外他还研究形体重心，曲线长度，最大、最小值，曲线的切线等典型微积分学问题，并且考虑倘若抛射体的水平速度固定，但坠落速度不是与时间成比例，却与时间的二次或者三次方成比例的情况，特别是它轨迹的切线方向如何确定的问题。不过，托里拆利虽然在技术上大大推进了“不可分元素法”，在基本观念上仍然没有改进，而且他的许多成果和法国学者罗贝尔伏、费马等几乎同时发现，由是引起相当多发明权论争。

耶稣会士的批判与创新

和上述意大利传统大致同时（1615—1645）的，还有圣文森特

---

① 有关卡瓦列里和托里拆利，分别见 DSB/Cavalieri/Carruccio 及 DSB/Torricelli/Gliozzi；并见 Boyer 1959，*pp.* 117－134。

（Gregory of Saint-Vincent，1584—1667）和塔凯（Andrea Tacquet，1612—1660）师徒二人，前者是布鲁日人（Bruges），后者是安特卫普人（Antwerp），都属今日的比利时，当时则在西班牙治下。他们从教育、工作以至事业都彻头彻尾是由耶稣会培植的学者，不但是数学家同时也是神学家，圣文森特更曾经教授希腊文和出任神圣罗马皇帝费迪南二世的牧师多年，但他们的活动范围主要还是在安特卫普、根特（Ghent）、布鲁日、鲁汶（Louvain）、布鲁塞尔（Brussels）一带。

圣文森特在数学上颇受瓦莱里和斯特文影响，他的学术手稿由于遭逢兵乱，所以迟至花甲之年才结集成过千页的《几何学》（*Opus geometricum*，1647）出版，其中不少成果和卡瓦列里相同。他最重要的贡献是明确指出，无穷级数之和可以"接近其终点，以使两者差别小于任何数值，但即使延续至无穷也仍然不能够达到终点"①，他此处所谓"终点"自然就是现代所谓"极限"。他还进一步通过这概念来讨论芝诺的阿喀琉斯与龟赛跑的悖论。至于塔凯，则除了强调他老师的极限概念以外，还严厉批判"不可分元素法"，认为几何体（例如面积）只能够由"同质元素"（即微细的面积元素）构成，而绝对不能够由"异质元素"（如不可分元素法中的线条）构成，这在原则上自然很正确。他这著作发表于1656年，当时牛顿已经将近升读剑桥大学了。除此之外，比塔凯早得多，而和圣文森特大致同时，还有一位同样是耶稣会士的瑞士数学家古尔丁（Paul Guldin，1577—1643），他在1635—1640年间出版的著作也以严厉批判开普勒的"无限小"元素和卡瓦列里的"不可分元素"观念著称。因此，意大利学派纯粹以实用为目标的计算程序出现之后，是立刻就不断遭到观念挑战的②。

学院以外的数学奇才

在17世纪，笛卡儿声名盛极一时，但他碰到了一位劲敌，即是以数

---

① 《几何学》第55页，转引自 Boyer 1959，p. 137。

② 有关圣文森特、塔凯和古尔丁，分别见 Boyer 1959，pp. 135－140；DSB/Tacquet/Stromholm；DSB/Guldin/Busard。

学作为智力挑战和消遣的执业律师费马（Pierre de Fermat，1601—1665）[①]。费马出身法国西南部的一个富有世家，其初在图卢兹（Toulouse）上大学，17 世纪 20 年代赴波尔多（Bordeaux），他的数学兴趣和早期工作便是在那里萌芽的，1631 年他在奥尔良（Orléans）大学法学毕业，随后回到图卢兹捐得地方法院官职，此后逐步升迁，以迄终老。他在波尔多时期深受两方面影响，即当地学者维艾特的符号代数学以及当时刚刚出版的丢番图《算术》一书中的数论（分别见 532 页注及 §7.7），这可以说塑造了他日后一生的数学兴趣。从 1636 年开始，通过同事推介，他开始与梅森通讯，并且出示研究成绩，由是声名鹊起，迅速获得数学界敬重。但他不愿从事撰述，而只宣布工作结果以挑战同行，从而引起不少误会与争端，他更一度销声匿迹，几乎为人淡忘。如今大家知道费马是由于他的数论，特别是迟至 1993 年才得到证明的费马定理。事实上，他在解析几何学和微积分学上都有巨大贡献，但因为作品延迟到身后（1679）发表，所以影响力及不上意大利学派。

费马有关解析几何学的备忘录（1636）和笛卡儿的《几何学》几乎同时发布，两者虽然是各自独立研究的成果，内容却不谋而合。其后费马还发现，代表方程式的轨迹（locus）之性质是由未知数的数目（而非方程式的次数）来决定这一基本原理：即单未知数方程决定点，双未知数方程决定平面上的线，三未知数方程决定空间中的面。差不多同时，他在微分方法上也获得决定性进展：他意识到，多项式（polynomial）$f(x)$ 的最大或最小值是由 $f(x)=M$ 这方程式两个相邻近的根重合而决定的。倘若 x 和 $x+y$ 是两个适合上述方程式的根，那么立刻可得到 $f(x+y)-f(x)=0$；对于多项式而言，他发现新方程式必然可以用 y 整除，因此 $[f(x+y)-f(x)]/y=0$；到此阶段，他就要求两根重合，即 $y=0$（这他称之为“足等”adequality），所得到的新方程式就是决定最大最小值的条件。很明显，他所发现的，就是计算导数（derivative）$f'(x)$ 的普遍原理：$f'(x)=[f(x+y)-f(x)]/y$，$(y\to 0)$；而极大极小值则是由

---

① 费马的生平与工作，见 DSB/Fermat/Mahoney，以及 Boyer 1985，pp. 380 - 384。

导数消失 $f'(x)=0$ 决定。在此基础上，他发现，还可以根据二次导数 $f''(x)$ 的正负来决定 $f'(x)=0$ 所给出的，到底是最小抑或最大值；以及计算导数的方法可以应用于决定切线和几何形体的中心。在当时，这一奇特的“足等”条件是很不容易理解的，为此他曾经和笛卡儿发生激烈争执，后来笛卡儿虽然自己发现错误并且道歉，但费马亦因此颇受损害。此外，在曲线长度、面积、体积等涉及积分的问题上，他也有多方面重要贡献，包括求得 $y=x^p$（p 为任何有理数，包括负数）曲线下的面积 A，其方法如下：将 A 近似表达为一系列不等宽矩形之和 I，而那是可以通过级数求和准确计算的；由于所有矩形宽度都由一个参数控制，在改变参数使所有宽度都趋近于 0 时，I 就等于 A。此外，他还求得了计算曲线长度的普遍积分公式。

事实上，费马是在牛顿和莱布尼兹以前最接近发明微积分的人。不过他和这两位大师还是有距离：费马始终未能发现微分与积分之间的互补和对易关系，而且他的方法缺乏普遍性，不能够应用于一般函数，这可能是因为他的眼光仍然停留在解决具体几何问题的层面上，而始终没有意识到，微积分学可以成为更高层次的独立数学分支吧。

迅速成熟的观念

从大约 17 世纪 40 年代，即伽利略去世和牛顿出生（1642）之后开始，欧洲科学活动就进入了一个高度活跃时期，各种新观念、新实验、新进展纷至沓来，使人目不暇给，难以追寻交错纵横的发展脉络。就微积分学而言，这无疑已经成为极其热门领域，它的观念在迅速成熟，可以说是跃跃欲出了。在此阶段活跃的数学家，我们还要稍为提到法国的罗贝瓦尔和帕斯卡，以及英国的沃利斯和巴罗（Isaac Barrow，1630—1677）。

罗贝瓦尔（Gilles Roberval，1602—1675）和笛卡儿、费马、卡瓦列里、托里拆利属同一代人，但成功经过最为传奇。他出身寒微，家世不明，据说 14 岁开始自学数学，其后周游各地，以此谋生。1628 年到巴黎加入梅森的圈子与第一流数学家来往，1632 年成为教授，自此声誉日隆，1666 年法国科学院（*Academie des Sciences*）成立，他还是创院院士。在积分学上他采取类似于“不可分元素”方法，但强调方法中的“线”其实

是指微小的面积元素，所以观念上较卡瓦列里为进步。他由是得到 x^n 甚至可能还有正弦函数 sinx 的定积分公式；此外，他对旋轮线有特殊研究，算出它的长度、所包面积，以及其旋转体所包体积。在微分学上他的主要贡献是将曲线视为点的运动轨迹，其上任何一点的切线则视为该处的运动方向，由是而决定切线方向，并且计算曲线长度。罗贝瓦尔不止是数学家，而且在物理学其他方面也有贡献，这下面还要谈到①。

帕斯卡（Blaise Pascal，1623—1662）和费马、罗贝瓦尔并称法国 17 世纪最伟大的三位数学家。他天生多才，是投射几何（projective geometry）的开创者之一；和费马一道是现代组合数学（combinatorics）以及概率论（probability）的奠基者；和托里拆利以及玻义耳同是最早阐明真空问题并且开创现代流体力学者；他还发明、产制和销售了第一部机械加数机；而且，在微积分学发展上也同样有重要贡献。帕斯卡母亲早逝，他由精通数学的父亲亲自抚养和教育成人，还不满 16 岁就已经跟随父亲参加梅森的科学聚会。他毕生致力于科学工作和实验，也数度经历强烈的宗教经验，却从来不曾担任教职，未及四十即患癌症去世。和同时代许多数学家一样，帕斯卡也知道 x^n 的定积分公式，并且对旋轮线有特殊兴趣和研究。他最重要的贡献是在《算术三角形专论》（*Traité du triangle arithmétique*，1654）中详论由二项式系数（binomial coefficients）所构成三角形的种种性质和在分析学上的应用，这所谓“帕斯卡三角形”（Pascal triangle）② 通过沃利斯而传给牛顿，从而导致后者发现普遍二项式定理（binomial theorem）。

英国数学的复兴

最后，谈到英国，我们自不免会注意到，自从 14 世纪的布拉沃丁和摩尔顿学派以后，英国数学就沉寂乃至销声匿迹了，这样一直要到 16 世纪下半叶方才以《几何原本》英译本的出版为转折点而复兴。它

---

① 有关罗贝瓦尔和下文的帕斯卡，分别见 DSB/Roberval/Hara 以及 DSB/Pascal/Taton；并见 Boyer 1959，pp. 140 - 153。

② 他并非首先发现此三角形的人：除了阿拉伯数学家和中国的朱世杰以外，欧洲中古以至十五六世纪的数学家也都曾经论及它和它的某些性质。

是从民间研习转盛开始的[①]，其后方才出现有创新能力的数学家。这除了上一章提到的哈里奥特之外，还有纳皮尔（John Napier，1550—1617），他是致力于家族庄园管理的苏格兰贵族，在1614年发表其所发现的对数原理和计算方法，翌年牛津数学教授布里格斯（Henry Briggs）为此专程北上造访，与他共同商定以10为底的对数表[②]；此外还有出身伊顿和剑桥的牧师奥特雷德（William Oughtred，1574—1660），他发明计算尺，推广新计算法，撰写精简的《数学要义》（*Clavis Methematica*，1631），影响包括牛顿在内的许多学者，更开设免费私人数学学校，教导出像沃利斯和雷恩（Wren）那样的数学家。纳皮尔、哈里奥特、奥特雷德都是学术界以外的人物，从大学内部提倡数学的要首推萨维尔（Henry Savile，1549—1622）。他出身牛津，是摩尔顿学院院士，曾经讲授托勒密、拉哲蒙坦那和哥白尼的学说多年（1570—1578），又曾经长期漫游欧洲（1578—1582），与知名学者往来，回国后得到伊丽莎白女王信任，并且成为摩尔顿学院院长，因此得以借各种机会鼓吹数学的重要性。在1619年他鉴于"在英国，几何学几乎已经完全无人知晓和被遗弃"，在牛津大学设立几何学和天文学"萨维尔讲座教席"（Savilian Professorship），对英国数学随后的发展起了难以估量的作用。

不过，即使是如此，英国数学的真正复兴，已经是17世纪中叶沃利斯（John Wallis，1616—1703）冒起之后的事情了[③]。沃利斯出身牧师家庭，在剑桥攻读文科和神学，1640年毕业，即执业牧师。其后不久清教徒革命爆发（1644），他与国会党关系密切，经常到伦敦去，从而遇上了影响终身的两件大事。其一是大家发现他有解破密码的非凡才能；其二是他参加了一班科学家的定期讨论会，这就是日后英国"皇家学会"（Royal Society）的雏形。很可能由于这两件事情的影响，他在1649年居然被委

---

① 有关十六七世纪间在英国民间和大学之中的数学状况，分别见 Harkness 2007，Ch. 3 以及 Feingold 1984。

② 瑞士钟表专家比尔吉（Joost Bürgi，1552－1632）可能在1588年已经独立发现了对数原理，虽然他迟至1620年才由于开普勒的催促而将之出版。

③ 有关沃利斯见 *DSB/Wallis/Scriba* 以及 *Boyer 1959*，pp. 168－176。

任为牛津的萨维尔几何学讲座教授，以接替被国会解聘的王党原任。当时恐怕没有人能够预见，他将在位超过半个世纪之久，而且会成为振兴英国数学的功臣。

他的第一部重要著作是1656年出版的《无限算法》（*Arithmetica infinitorum*）。它从求单位圆面积开始，得到下列简单积分关系：$\int(1-x^2)^{1/2}dx=\frac{\pi}{4}$；但从此他考虑更普遍的积分，即 $I(k,n)=\int(1-x^{1/k})^n dx$，其中k和n可以取任意整数乃至分数值，显然，$I(1/2,1/2)=\pi/4$。在n为整数时此积分可以卡瓦列里的“不可分元素法”计算，但在n为分数时，他则大胆地应用基于连续性假设的“内插法”计算，由是再经过连串复杂运作得到下列有名的无限连乘公式：

$$\frac{4}{\pi}=\frac{3}{2}\cdot\frac{3}{4}\cdot\frac{5}{4}\cdot\frac{5}{6}\cdot\frac{7}{6}\cdots$$

这公式第一次使人能够脱离几何考虑而直接计算圆周率，而I(k，n)其实是和许多高等函数，例如牵涉椭圆弧长的“椭圆积分”（elliptic integral）和牵涉阶乘积（factorial）的“伽马函数”（Gamma function）密切关联。整体看来，《无限算法》是首先表现了函数意识与连续性概念的著作，它无疑应该视为现代分析学的开端。根据牛顿手稿的自述，他就是“在1664年至1665年间冬季读到沃利斯博士的《无限算法》”之后，更进一步将I(k，n）积分上限视为变量，然后用内插法得到“二项式定理”的①。此书的出版立刻使得欧洲学者对英国刮目相看，并且引来了费马的公开挑战。在此之后沃利斯还出版了两部主要著作，即1669—1671年间的《力学》（*Mechanica*），其中提出“力矩”（moment）概念，并且详细讨论物体的撞击（impact），特别是弹性和非弹性碰撞（collision）；以及1685年的《代数学》（*Treatise of Algebra*，*Both Historical and Practical*），此书卷帙浩繁，它不但包括代数学和分析学，也还有代数学史——不过，它以此来宣扬英国数学，特别是哈理奥特之先进，则颇为人诟病。

---

① 见DSB/Newton/Cohen，以及DSB/Wallis/Scriba，特别是前者在注21的征引。

最后，我们自然不能不提到牛顿在剑桥的老师巴罗（Isaac Barrow，1630—1677）①。他的剑桥时期（1646—1652）正碰上清教徒革命。他属王党，因此颇受压力，不过坚忍下也终于顺利毕业。在当时，剑桥注重古典语文而轻视数学，他在本科阶段也受此风气影响深究希腊文，但同时逐渐对科学发生兴趣，到硕士阶段就开始钻研欧几里德、阿基米德、阿波隆尼亚斯、托勒密以及笛卡儿，并且开风气之先，大力鼓吹数学的重要性。毕业后他在大学资助下漫游欧陆多年（1655—1659），其后由于查理二世复辟得以回到剑桥教授希腊文。1663 年剑桥设立“鲁卡斯数学讲席”（Lucasian Professorship），他荣膺首位讲席教授。牛顿是 1661—1665 年间在剑桥攻读本科的，他听巴罗讲课并且和他私下讨论，主要是在硕士阶段，即 1667—1669 年间。虽然两人之间的关系则并不十分清楚，但是巴罗对牛顿显然爱护备至，除了催促他写成第一篇数学手稿之外，还在他获得硕士学位之后不久即辞去鲁卡斯讲席，并且推荐弱冠之年的牛顿（1669）接替此位。巴罗在位六年间出版过若干演讲集，其中以论及托里拆利以运动观念来求切线方向，并以时间为此运动中的均匀流变量这点最堪注意，因为这有可能就是牛顿“流数法”的渊源——虽然牛顿在晚年对此语焉不详。此外，巴罗的辞职有可能是主动让贤，但更可能是高升：因为鲁卡斯讲席明文禁止兼职，而他随后不久便赴伦敦出任王室牧师，四年后在英王查理二世支持下回到剑桥出任圣三一学院院长，1675 年更出任大学校长，其后在伦敦罹疾遽然去世。

五、动力学的困惑与进展

促成牛顿革命的一共有三条线索：天文学、解析学和动力学。到了 17 世纪中叶，天文学和解析学都已经高度发展，动力学经过伽利略的推

---

① 有关巴罗见 DSB/Barrows/Whiteside 以及下列专书：Feingold 1990。该书 Ch. 1 为巴罗传记；pp. 63 - 67 为鲁卡斯讲席的历史；pp. 79 - 84 详论他辞去讲席的因由，认为是出于虔信；此外对剑桥大学状况亦有论述。

进似乎也已经有眉目，但其实仍然是在纷乱、困惑、莫衷一是的状况之中，它的观念、方法，乃至目标都还不明确。这主要是因为，它需要解释许多属于不同类型、具有完全不同特性，然而又彼此相关、牵连的现象，例如行星的运行、自由落体、抛物体、物体碰撞、圆周运动、悬摆体、静力学，等等。这些现象的个别研究产生了迥然不同的观念和规律。问题是：这些观念和规律之中是否有些更为基本，因此可能解释不同类型的现象？还是应当试图将它们结合起来？这些纷乱现象真有可能用同一套观念、规律来了解吗？牛顿的巨大贡献便是彻底解决了这些问题，但这是直到 17 世纪 80 年代中期方才完成的。在伽利略与牛顿之间，这方面的进展主要归功于笛卡儿和惠更斯，前者阐释、宣扬大原则，但缺乏具体计算，后者在伽利略已经证验的原则上以高超数学技巧计算复杂的实际问题，但在原则上并无新发展①。

笛卡儿是“机械世界观”创始者，他彻底地抛弃亚里士多德的目的论（teleological）运动观念：“我不接受剧烈和自然运动有任何分别”②，认为无论上天下地所有物体运动都是根据相同规律。他在动力学上的贡献发表于其《哲学原理》③，这主要有三方面。其中最重要的，是提出相当于今日所谓“功”（work）的原理，即是能够将“100 磅重物升高 1 英尺”的所谓“力”（force），也能够将“200 磅重物升高半英尺”。而且，他了解，这原理牵涉的只是升高的距离，而非升高的速率（伽利略就经常混淆二者）；他甚至意识到功和力的分别，因而认为“力”有两种，将物体升高的能力（即“功”）是一种，它是“两度”即涉及两个量的；支持物体令其不会坠落的“力”则是另外一种，它是“一度”即只涉及一个量的。他第二个贡献是指出，作圆周运动的物体总是有离开圆心向外移动的“倾向”，因此认为它有“离心力”。但他并没以数学细究这力与运动速率以及圆周半径的关系，更未能了解这力从何而

① 讨论 17 世纪动力学发展史最详细的是韦斯特福尔（R. S. Westfall）的《牛顿物理学中的力：17 世纪动力科学》，即 Westfall 1971。

② 笛卡儿致梅森信札，1640 年 3 月 11 日，转引自 Westfall 1971，p. 56。

③ 以下有关笛卡儿动力学贡献的讨论，见 Westfall 1971，Ch. 2。

来，它的性质为何——当然，今日开始学习“普通物理学”的学生还是经常受此类问题困扰。最后，在“机械世界观”中，物体之间的作用力只能够通过接触、碰撞而发生，所以他考虑了物体在七个不同条件下的碰撞（impact），试图解决碰撞后会出现的情况。他的策略是绕开力的观念，而用“运动量”（quantity of motion）之不变为基本原则，这可能是个进步，然而他不能决定什么是“运动量”，所以他的讨论并未曾量化，只在最简单情况，即是相同物体以相同速率对撞，他才得到正确的答案。

惠更斯（Christian Huygens，1629—1695）可能是荷兰最著名科学家。他如今以解释光波进行的“惠更斯原理”著称，其实，除了光学以外，他对数学和力学也有巨大贡献，曾经以发现圆周运动定律和发明钟摆定时器震惊学界。他比笛卡儿晚一辈，即与牛顿的老师巴罗同时，出身荷兰世家，祖父是荷兰开国元勋“沉默者威廉”以及莫里斯亲王的秘书，父亲也出任奥兰治（Orange）家族的家臣，而且学养渊博，和梅森、笛卡儿等学者经常来往。惠更斯自幼聪慧过人，未及弱冠即在莱顿大学研习法律和数学，受维艾特、笛卡儿、费马影响，并且开始和梅森通讯，毕业后不愿投身外交界，长年居家研究（1650—1666）数理，这成为他思想最锐利、发现最丰富、迅速扬名欧洲学界的时期。随后他应邀赴巴黎出任新近成立的法国“皇家科学院”院士（1666—1681）多年，以迄由于体弱多病返海牙退休和终老（1681—1694）[①]。

和当时其他数学家一样，惠更斯也致力于分析学，包括曲线长度以及几何形体的面积和重心计算，但最有名的则是法包线（evolute，亦名渐屈线）和渐伸线（evolvent）系统，以及指数曲线、悬链线（catenary）、滚轮线（cycloid）的研究，还有“曲率”（curvature）之发现。在动力学上他基本只应用伽利略所已经证明可靠的少数原理，然后以其超卓数学（主要是几何学）才能将这些原理发挥到极致，从而获得非常丰硕成果。

---

① 有关惠更斯及其各方面的工作，见 DSB/Huygens/Bos；其动力学发现的详细论述，见 Westfall 1971，Ch. 4。

在此意义上他是真正的数学物理学家。

在1656年完成但迟至1668年才在皇家学院发表的《碰撞产生的物体运动》（*De motu corporum ex percussione*）论文之中，他解决了平面上不同大小坚硬物体以不同速度碰撞之后各自如何运动的普遍问题。解决关键实际上应用了以下几个原则。（1）“惯性原则”，即除了由于发生碰撞，物体速度不变。（2）“对称原则”，即大小和速度相同的物体对撞，则必然以相同速度反弹。（3）“伽利略相对性”，即大小相同但速度不相同（包括其中一方静止）物体的对撞情况可以“转化”为相同速度的对撞——只要选择以适当速度移动的观察者（例如坐在行驶的船中观察岸上情况）；问题解决后再“转化”回到原来观察者，即可求得两者碰撞后的速度，并且由是证明，那将会是原来速度对易，但方向相反。（4）最后，要解决不同大小物体的碰撞，他利用了伽利略所发现的“势能”与“动能”互换原理，即物体下落的至终速度之平方与下落所经过的高度成比例。假定碰撞体的速度是得自各从不同高度坠落，并且用一个观察系统以使发生碰撞时两物体的重心为静止，那么他就可以证明，碰撞之后两者的速度也是对易，但方向相反，否则它们各以终速向上爬升的时候，重心就会高于原来，这样要导致悖论。他甚至明确提出，将物体各自的质量乘以速度平方，然后相加，所得总量在它们碰撞前后不变，亦即两物体的 mv^2（这是动能的两倍）总量不变。因此，在坠落和碰撞过程中，他都用到了“能量守恒”原理。

他有关悬摆（pendulum）的研究也是在17世纪60年代完成，后来发表于1673年出版的《悬摆钟》（*Horologium Oscillatorium*）一书①。在此书他充分显示了其卓越的数学能力，不过我们不可能在此缕述他的论证，而只能够综述他的主要发现，这包括：（1）小幅度单摆（simple pendulum）的周期为 $T=2\pi\sqrt{L/g}$，其中L是摆长，g 是重力加速度。（2）根据此公式

① 《悬摆钟》有下列英译本：Huygens/Blackwell 1986。通过其手稿原本来详细论述惠更斯的动力学（主要为离心力及悬摆，但不包括碰撞）研究及发现过程者，尚有尤达的《展开时间：惠更斯与自然的数理化》，即Yoder 1988。

对 g 作高度精密测定。(3) 发现单摆周期其实与摆动幅度有关，但倘若以滚轮线状“颊板”(cheek) 连续改易摆长而形成所谓“滚轮摆”(cycloidal pendulum)，那么周期就不会随幅度改变，悬摆成为“等时”(isochronic) 的。(4) 复摆 (compound pendulum) 即实际刚体 (rigid body) 的摆动研究，包括其周期与质量分布，亦即“惯性矩”(moment of inertia) 的关系，以及如何通过移动摆上小质量的位置来调校周期。这些发现所根据的动力原则只有伽利略所发现的以下两项：垂直落体速度与落距的关系，以及斜板上落体的终速只与垂直落距有关，此外则完全是通过几何学论证 (例如将曲面分解为许多细小斜板) 来完成，而所得成果却是那么丰富与精确，所以是非常令人惊讶、钦佩的。

至于他的有关圆周运动的论文《离心力》也是 1659 年完成，但十四年后即 1673 年才附在《悬摆钟》书后作为第五部分发表，还略去了证明。至于论文本身则迟至 1703 年才出版，那时牛顿《原理》已经发表多年，所以成为明日黄花了。他此文最重要的成果是：证明以固定速率 v 循半径为 r 的圆作均匀圆周运动的运动体之向心加速度为 v^2/r (这基本上是几何问题)；然后通过将此加速度与重力加速度比较，得到均匀圆周运动中运动体所产生的离心力为 $F = mv^2/r = mr\omega^2$ 这著名公式，其中 ω 是角速度。通过这公式，他能够计算由于地球自转所产生的离心力，并证明它远远小于重力 $F = mg$，因此也就否定了对于地球自转说经常出现的反对意见，即自转会导致物体飞离地球。这个证明有赖于地球半径 r 和重力加速度 g 的测定，不过两种力大小悬殊，所以即使 r 和 g 的测定有误差也不会对结果发生大的影响。

六、大自然的神奇之子

到 17 世纪中叶，现代科学革命所需要的各种基本因素——新天文观念、行星运动定律、惯性概念、落体和抛射体的运动规律，乃至代数学、解析几何，以及微积分观念与方法等等工具，大致都已经具备了。但倘若我们认为，牛顿只不过是幸运地在适当时刻出现在适当位置，因而能够融会贯通这一切的人，那就大错特错了。他倘若没有过人天分、才能和魄力，

是绝对不可能完成思想上最后一步飞跃，将许多杂乱无章的思想、方法和试探性规则加以神奇变化，熔铸成完整科学体系的。古人有云“天不生仲尼，万古如长夜”，蒲柏（Alexander Pope，1688—1744）为牛顿作墓志铭曰：“大自然暨其规律为夜幕所掩，上帝命牛顿出世，天地遂大放光明。”① 东西方的称颂异曲同工，都能够表达后人对大宗师的景仰赞叹之情。

孤僻青年的不世发现

牛顿（Isaac Newton，1642—1727）② 出生于林肯郡的富裕自耕农家庭，是早产的遗腹子，身体孱弱，两岁时母亲改嫁，他留在祖屋由祖母抚养；10岁时后父去世，母亲带同三个异父弟妹归来同住。这连串委屈、凄凉经历对牛顿的性格有很大影响，他甚至留下痛恨母亲与后父的自白纪录。牛顿在少年时期并没有突出表现，一说他喜爱和长于制造机械模型，但这不乏争议。母亲曾经命他辍学管理庄园，可是他不感兴趣，表现散漫，后来在叔父和中学校长斡旋和帮助下，卒之能够完成中学学业，于1661年进剑桥圣三一学院。

当时查理二世复辟（1660）未久，剑桥暮气沉沉，唯亚里士多德是尚，数学研究远远落后于欧陆，但学院以外的实验科学却和欧陆一样，开始进入黄金时期：已经酝酿二十年之久的皇家学会此时正式成立（1662），玻义耳（Robert Boyle，1627—1691）刚刚发表有关抽气机与真空的研究③；胡克（Robert Hooke，1635—1703）的《显微图录》（*Micrographia*，1665）随后出版；跟着，法国皇家科学院成立（1666），已经成大名的惠更斯出任驻院院士，他有关悬摆钟和离心力的研究大约在此时完成，但多年后才公布④。青年牛顿

---

① 称颂仲尼诗联为宋代唐庚所记而朱熹所引，见《朱子语类》卷九十三。蒲柏墓志铭原文为“Nature and nature's laws lay hid in night; God said ‘Let Newton be’ and all was light.”，作者译文。

② 有关牛顿的传记、论文、研究浩如烟海，此处所根据主要是以下数种当代文献：DSB/Newton/Cohen，Christianson 1984，Westfall 1993，Hall 1996，以及下文中其他征引。此外Cohen and Smith 2002 为牛顿各方面学术成就之论述与研究。

③ 即1660－1662年间出版的《有关空气弹性和效应的新物理机械实验》（*New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air and its Effects*）。

④ 有关17世纪实验科学的深入讨论，见 Bonelli and Shea 1975，此论文集对于伽利略各方面的工作以及化学、炼金术和魔法都有论述。

孤癖、内向和极端好学，他在校期间以自学为主，涉猎非常广泛：除了起初有点不屑一顾的《几何原本》以外，从开普勒的《折射光学》（1653 年重印）、伽利略的《对话》（但《新科学》似乎阙如）、维艾特的《分析方法导论》、笛卡儿的《几何学》和《哲学原理》、奥特雷德的《数学要义》、沃利斯的《无限算法》和《代数学》，以至上述《显微图录》等等都无所不窥。他所留下的笔记本除了以希腊文撰写的亚里士多德札记以外，更显示他对于哥白尼天文学、伽利略《星际信使》、玻义耳最新研究都非常熟悉。因此，通过自学，他充分感受了 17 世纪新思想、新方法、新发现的强大冲击，从而激发出雄心与创造热情。

牛顿在 1665 年夏季文科毕业，跟着碰上瘟疫流行，剑桥停课，因此回到林肯郡旧居躲避，以迄 1667 年春季回到剑桥。他那时“正当发明的盛年，对于数学和哲学比此后任何时候都更为用心”，因此神思泉涌，日夜不停工作，在平生所有最重要的发现上，包括“流数法”（the method of fluxions，相当于微积分学）、万有引力、运动三定律，以及三棱镜的折射和散射实验，等等，都获得突破性进展，所以 1665—1666 年被称为他的“奇迹年”（*anni mirabilis*）。爱因斯坦称他为“大自然的神奇之子”（wonder child of nature），又说“幸运的牛顿，科学的幸福童年！”①，所指当就是这时期的表现。不过，这只是戏剧性说法：其实，他在流数法上的工作从 1664 年冬季就已经开始，而且一直延续到 1667 年；至于他在物理学上的发明，则此时还只不过限于粗略的基本观念和想法，它们之大事发展和提炼成为严谨理论系统，是二十年后撰述《原理》之际的事情了②。

登上欧洲学术舞台

牛顿在剑桥度过三十五年漫长岁月：从入学以至荣升教授是初期（1661—1669）；此后 20 年（1669—1689）是精力旺盛，工作专注，成绩丰盛的中期，《自然哲学的数学原理》即发表于此时期之末；当选国会议员之后，则进入末期

---

① 见爱因斯坦为牛顿《光学》现代版所写“前言”，Newton 1952，lix。

② 见 Hall 1996，Ch. 2 以及 Westfall 1993，Ch. 3。在 1666 年春夏之间，牛顿曾经短暂回到剑桥数月。文中所引他对此“奇迹年”的自述，是半个世纪之后与莱布尼兹争夺微积分学发明权时的追忆，转引自 Westfall 1993，p. 39。

（1689—1696），那时他经常往来于剑桥与伦敦之间，已经不再完全专注于数理科学了。

1667 年初回到剑桥之后，牛顿通过考试，当选初级院士（minor fellow），这是他被接纳进入剑桥这个学术大家庭的决定性一步。剑桥唯一的出色数学家巴罗开始注意和赏识他，与他切磋论学，大概在此时期。这非常之重要，因为他虽然已经作出第一流发现，却仍然默默无闻，而且孤芳自赏，不愿意将成果公之于世。1668 年他得硕士学位，并循例当选正院士（major fellow）。那年年底，一位来自北欧的皇家学会会员墨卡托（Nicholas Mercator，1620—1687）发表《对数方法》（*Logarithmotechnia*），初次披露新发现的对数函数之无穷展开式，并且用以计算对数值。巴罗通过皇家学会图书馆长柯林斯（John Collins，1624—1683）得到这消息之后，立刻催促牛顿尽快将他以无穷展开式表达函数，并且藉之将函数积分的普遍方法发表，这就是 1669 年牛顿第一份数学手稿《论无穷级数分析法》（*On Analysis by Infinite Series*）的由来。但手稿传到皇家学会之后，牛顿初次显示了他深藏不露的退隐性格，坚持不允许出版，柯林斯无奈只得退还手稿。虽然如此，柯林斯所抄录的副本已经广为流传，牛顿的名声也不胫而走。这样，当巴罗在当年年底辞去教职的时候，牛顿继承他登上鲁卡斯数学讲席，可以说是顺理成章的事情了。

当上教授之后，牛顿按照规定年年讲课，并数度将讲稿呈交备案，但当时剑桥和三一学院依然故步自封，像巴罗那样能够了解、欣赏他的人凤毛麟角，他也就形只影单，闭门治学，绝少与同侪或者学生交往。另一方面，皇家学会却活跃非常，在柯林斯多番请求之下，他在 1671—1672 年间曾经撰写《级数与流数方法论》（*A Treatise of the Methods of Series and Fluxions*），但并没有完成就束之高阁，更谈不上发表。此时他在两年前即 1669 年亲手磨制的小巧高倍单镜反光望远镜已经轰动一时，由于盛情难却，他通过巴罗赠送一台予皇家学会，学会立刻将有关通讯广为传播，并即在 1672 年初推选他为会员。牛顿投桃报李，跟着寄去一篇有关光与颜色实验的论文在会刊《哲学学报》（*Philosophical Transactions*）发表，此文迅即获得各方高度赞扬。然而此事的后果却令人愕然：他的革命性发现与理论并非人人所能够立即接受，胡克和惠更斯的批评尤其令他不快，甚至萌生退出学

会之意。无论如何，这导致他与柯林斯以及学会秘书奥登堡（Henry Oldenburg，1618—1677）之间的通讯在1674—1675年间中断了一年多之久。

隐密的"其他工作"

在此后将近十年间（1674—1684），为了专心致志于"其他工作"，牛顿尽量减少与学会和学界接触——虽然这有时无法避免，其中尤以与莱布尼兹的通讯（见下文）为然。但牛顿到底为何如此退隐与孤癖呢？这有个简单解释：他的所谓"其他工作"就是今日看来令人大惑不解的炼金术和神学。事实上，他在这两方面所耗费的整体时间、心思、精力，远远超过数学和物理学。他大约从17世纪60年代末开始，就已经在学院居所附近着手建造锅炉，购买仪器、药物，搜集和亲自誊录配方、典籍，从1678年开始则留下注明日期的实验纪录，以至1696年迁往伦敦为止。因此他认真研究炼金术前后最少达三十年之久，而且极少间断，大约只是在60年代中晚期和1684—1687年等两三个时段转向数学、物理学和光学而已。他的大部分炼金术笔记是在出版《原理》和成大名之后即1690—1696年间所作，这说明他对此是如何认真与看重。根据助手追述，他做实验极其专注，往往通宵达旦，不眠不休，因此留下了上百万字的炼金术手稿和实验纪录，但破解物质变化之谜的梦想始终没有实现，现代化学出现是18世纪末的事情了①。此外，他和玻义耳在1675年认识之后在这方面通讯不辍，以迄后者1691年去世②。

至于在神学研究上，他倒是获得明确结果的，那主要就是认为虽然耶稣是上帝之子，却并非神，因此基督教"三位一体"的教义全然错误，是亚大纳西主教（Bishop Athanasius of Alexander，约296—373）迫害神学家阿里乌（Arius，约256—336）的结果，而这种歪曲和错误所代表的，

---

① 有关这方面的综合论述见Richard Westfall，"The Role of Alchemy in Newton's Career"，in Bonelli and Shea 1975，pp. 189－232；牛顿炼金术的专门研究则有以下两部专著：Dobbs 1975，以及Dobbs 1991。Westfall与Dobbs对现代科学革命有截然相反的见解，对牛顿致力于炼金术的意义也有不同解释，但基本事实论述则大体相同。§12.9对此问题有进一步讨论。

② 有关玻义耳与炼金术有下列专书讨论：Principe 1998，其中不少篇幅涉及牛顿；此外尚见其传记，即Hunter 2000的Ch. 5，他与牛顿和洛克在这方面的交往，见该书pp. 112－115。

则是远古的原始一神宗教“偶像化”所致。换而言之，牛顿是阿里乌派信徒（Arian），那自然是违反英国国教信仰的。这倘若暴露出来，在当时已经不致干犯刑罚，但却会令他丧失教授职位和不容于社会，所以他被迫终身谨慎保持这个秘密，只是临终时拒绝领受圣餐才显露了立场。至于他在 1675 年申请国王特许，不必按照大学规定领受神职，也正是为此。他这信仰还有一个连带意义，即他和开普勒一样相信所谓“本始智慧”（*prisca sapientia*）。他还认为，毕达哥拉斯和其他古代哲学家不但早已经明白行星绕日运行的道理，更且已经知道万有引力，他甚至曾经有意将此事写入《原理》的序言之中①！

和牛顿从 1689 年开始认识，然后很快相熟的政治学家洛克（John Locke，1632－1704）也同样分享他在炼金术和宗教上的理念，甚至一度试图帮助他在荷兰出版匿名的神学论文②。所以，牛顿、玻义耳和洛克虽然被视为将西方带入现代的主要人物，但他们的思想并没有完全脱离中古思维，亦即古代毕达哥拉斯的魅力以及 16 世纪魔法热潮绪余最少延续到 18 世纪之初的启蒙运动。而且，即使在科学观念上，牛顿也不接受笛卡儿的机械世界观：他是很认真、很努力地企图证明，神之旨意、大能的确可能在自然万象中显明，而并不需要违反祂自己所定下的自然法则。这一点在下文还将讨论。

七、不朽巨著

牛顿勤于治学，对发表论著却疑虑重重，只在受到外界刺激、触发的时候才被迫显露才华：最早的《分析法》手稿如此，后来的光学论文如此，与莱布尼兹在 1676—1677 年间的数学通讯更是如此。因此他成名之后 15 年间虽然有无数良机，却始终未曾动心将主要发现正式出版。

分析学的突破：流数法

牛顿第一个大发明是弱冠之年（1665）提出来的“流数法”，也就是今日所

---

① 事实上，是写进了《原理》第三卷，见 Newton/Cajori 1962，ii，pp. 549－550。

② 见 Westfall 1993，pp. 199－201。

谓微积分学。微积分学有两大类问题:一类是"求积",即计算边界弯曲形体的面积、体积;另一类是"求率",即计算变化中的速度、加速度、方向(例如曲线上任意点的切线方向)。如上文所说,在牛顿之前百年这两方面的研究风起云涌,到17世纪中叶更是蔚为大观,大量重要公式、结果,包括 x^n 的积分、二项式系数、函数的无穷展开、"导数"与曲线极大极小点的关系、运动与切线观念之结合,等等,都已经出现。那么,牛顿本人的决定性贡献到底在哪里呢?

简单地说,最主要的不是具体公式或者计算方法,而在于将"求积"和"求率"这两个观念结合起来,指出两者有根本的"对易关系"(reciprocal relation),也就是说,倘若任意曲线 A 的变化率可以表现为曲线 B,那么曲线 B 与横轴所包面积之变化率必然等于曲线 A。用现代数学语言来说,就是"函数之导数的不定积分等于函数本身": $\int f'(x)dx = f(x)$; 以及"不定积分的导数等于被积函数": $d/dx[\int f(x)dx] = f(x)$。这个基本发现加上将任意曲线或者函数表现(或曰"展开")为无穷级数的普遍方法,基本上就为所有"求积"和"求率"问题提供了普遍解决途径,这就是微积分学的雏形。不过,这些当时并没有印行发表,只发展成为1669年的《论无穷级数分析法》和1671—1672年的《级数与流数方法论》这两篇在相熟学者间流传的手稿①。甚至,他撰述《原理》的时候是否即以此为研究力与运动关系的工具,也都还不清楚。

刺激出来的巨著

无论如何,到了17世纪80年代初期,情况终于发生了大改变:当时惠更斯发表了离心力公式,因此通过动力原理来解释天体运动成为讨论热点。皇家学会的雷恩(Christopher Wren, 1632—1723)、胡克、哈雷(Edmond Halley, 1656—1742)② 等都已经意识到:倘若将开普勒行星运动第三定律

---

① 有关此关键发现的讨论,见 Guicciardini 1999, pp. 17 - 26, 以及 Boyer 1959, pp. 187 - 198。

② 雷恩是建筑师和数学家,以重建大火后的伦敦著称;胡克是皇家学会的"实验主任",亦是雷恩的助手;哈雷则是年轻的天文学家。有关玻义耳、雷恩、胡克、牛顿以及两位其他同代科学家(他们都与皇家学会有密切关系)见 Crowther 1960。

（行星运行周期 T 的平方与轨道半径 R 的三次方成正比：$T^2 \fallingdotseq R^3$）代入惠更斯公式（离心力 F 与圆周半径 R 成正比，与运行周期 T 的平方成反比：$F \fallingdotseq R/T^2$），那么就可以立刻证明，日球对行星的吸引力是与轨道半径平方成反比，即 $F \fallingdotseq 1/R^2$。牛顿虽然早已经知道此点，却为了不愿意放弃天体引力的旋涡说而拒绝胡克要求他讨论此问题的多次请求。为此后辈学者哈雷在 1684 年 8 月特地赶到剑桥向他请教，他这才被激发起来，终于在三个月后拟成《论轨道上天体的运动》（*De motu corporum in gyrum*）这篇九页的浓缩论文作为响应，文中以数学详细论证“与距离平方成反比的力”（以下简称“$1/R^2$ 力”）与开普勒行星运动三定律之间的关系——这就是他平生不朽巨著的起点。《论运动》手稿传到皇家学会之后立刻激起巨大热情，然而，它距离牛顿的理想其实还十分遥远①。

事实上，牛顿是在修订《论运动》手稿的过程之中，才逐步意识到天体力学的各种问题、解决这些问题所需要澄清的原则，以及原则一旦决定下来，它的各种可计算方法和验证后果。这层层深入，反复计算、论证、修订的过程令牛顿废寝忘食，欲罢不能。他虽然早在 1665—1667 年间就已经对于天体力学和相关数学作过深入研究，并且获得重大突破，其后更不时关注这方面的问题，但仍然需要摒挡一切事务，包括炼金术实验，在高度紧张和集中的精神状态下连续工作将近三年（1684 年 8 月至 1687 年 4 月）之久，这才得以完成三卷本的《自然哲学之数学原理》（*Mathematical Principles of Natural Philosophy*）②。至于出版工作则跟得很紧凑，在三个月后，即 1687 年 7 月就已经完成了。此时牛顿 45 岁，正值神思焕发的盛年（图版 12）。

---

① 后来胡克与牛顿争夺这 $1/R^2$ 定律的发明权，就是由于牛顿长期拒绝发表他的发现。有关这段历史，见 Westfall 1993，pp. 159 - 162，以及 Hall 1996，pp. 207 - 212。

② 此书拉丁原名为 *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*，一般简称 *Principia* 即《原理》。长期以来，《原理》的标准英译本是 Newton/Cajori 1962，它是译者重新修订 Andrew Mote 1729 年的旧译而成；王克迪的中译本即据此译出。但最近它已经有柯亨的更新，也是更精细完善的英译本 Newton/Cohen & Whitman 1999。

崭新科学体系的建立

虽然《论运动》只是为了解答具体天体力学问题，即“开普勒行星运动律从何而来”，但《原理》的规模则远远超出原来的有限度目标，变为建构一个立足于严格数学和实证观测数据之上，并且具有普遍性和高度准确性的自洽、自足宇宙系统。这意味着什么呢？《论运动》已经将“$1/R^2$ 力”用以解释行星在太阳吸引下的椭圆轨道运动，而且也更进一步利用“皇家天文学家”（Astronomer Royal）法兰姆斯蒂（John Flamsteed，1646—1719）所提供的观测数据证明，同样原理可以解释诸如月球、木星卫星、土星卫星，以及彗星等其他天体的运动。但这仍只不过是开端而已，因为倘若这样的吸引力具有普遍性，那么它在木星和土星（这是质量最大的两颗行星）之间也同样应该发生作用，这会在它们的“相合点”（即二者最接近的时候）令两者的运行速度减低——而法兰姆斯蒂正好能够提供这样的证据。这样，所谓“万有引力”（universal gravitation）即任何两质点之间吸引力的观念开始形成。

但万有引力不仅和距离有关：它还与感受此力的物体之量（amount of matter），即“重力质量”（gravitational mass）成比例。而这些观念牵涉到第一和第二运动定律：物体有维持其状况（即静止或者以等速作直线运动）的“内力”（inherent force），但在“外力”（externally impressed force）作用下运动状况会改变，实际运动是由于此二者作用的平衡而来。但到底什么是“内力”呢？经过长时间困扰和挣扎，牛顿才终于发现，“内力”就是惯性质量（inertial mass），而且它和“重力质量”完全相等，因此两者可以简单地同称“质量”（mass）——这就是所有落体加速度必然相等的缘故。只是在质量和惯性的关系完全明白之后，运动三定律和万有引力定律才算是真正建立起来。可是，这些观念和定律一旦精确化，一切又必须得重新开始研究、计算。例如，反作用力的存在，使得太阳不可能固定于行星椭圆轨道的焦点，那么它自己的运动是怎么样的？万有引力的 $1/R^2$ 规律只能够对极小的质点有意义，那么如何证明一个球体所产生的万有引力也服从同样形式的规律？如何计算一个椭形球体所产生的整体吸引力，或

者一个球体所感受的整体引力？月球在地球吸引下绕地运行，但两者同时又在太阳吸引下绕日运行，这对于月球轨道有何影响（这是著名的“三体问题”)？等等①。

在这气魄宏大，令人目眩神驰的第一卷之后，讨论“阻滞介质”(resisting medium）中的运动以及流体力学的第二卷好像十分突兀，其实不然：它不但是今日所谓“连续介质物理学”的开端，而且，更重要的，它批判了“旋涡说”。当时笛卡儿和惠更斯倡导的“机械宇宙观”认为，一切力都只能通过物体之间的直接碰撞发生，因此行星受到太阳吸引的原因是充斥宇宙的稀薄介质在行星周围形成的旋涡，至于像万有引力那样超越空间的“遥距作用”是不可思议，也没有根据的。因此，要为万有引力寻找立足点，就必须通过计算来证明“旋涡说”不能够成立，也不可能解释天体运动。至于称为“宇宙系统”（The System of the World）的第三卷，则是在前两卷基础上的综述和论证。在对于“哲学推理原则”以及“(天体）现象”作简短论述之后，它对于月球运动、彗星运动、潮汐现象，以及地球和月球的变形等问题作出详细讨论和计算——也就是将第一卷建立的力学与万有引力定律应用到所有可以探究的现象上去。

《原理》的数学论证方法

牛顿以数学、力学和光学上的大发现而知名，所谓数学大发现在一般理解中就是微积分学的发明。这不错，但需要澄清。首先，他称自己发现的方法为“流数法”，莱布尼兹（Gottfried Wilhelm von Leibniz，1646—1716）所独立发现的相类似方法才称为“微积分学”（calculus)，而且今日通行的微积分学符号诸如∫，dy/dx，等等，也都是莱布尼兹所创。其次，牛顿发现“流数法”之后，只撰写过上文提到的《分析法》(1669)

① 《原理》是以令人所完全不熟悉的几何证题方式来建构的物理学著作，而且要言不烦，行文极其严谨简洁，因此以艰难著称，即使对于现代物理学者来说，要通读和确切了解此书也十分不容易。为此天文物理学家钱德拉塞卡（S. Chandrasekhar）特地以现代力学方法详细阐释《原理》的意义与论证途径，为一般读者打开此书大门。见 Chandrasekhar 1995。

和《方法论》（1671—1672）两篇私下流传的手稿，到1691年又撰写了《论曲线求方》（*On the Quadrature of Curves*），缕述流数的历史和方法，并且提出自己采用的特殊符号。不过，一直到17世纪末为止，所有这些手稿都从未曾出版。另一方面，莱布尼兹则于1684年出版《求最大最小值及切线新法》（*New Methods for Maxima*，*Minima and Tangents*），以及在1686年出版有关微积分方法的论文。最后，一般人认为：牛顿解决力学复杂问题实际所用的是“流数法”，但在《原理》这部巨著中，论证上改为采用古希腊几何学方法，即所谓“综合法”（synthetic method）以求严谨。然而，那很可能只不过是他刻意制造的假象，实际上他撰述《原理》的时候自始至终所采用，都是自己极为娴熟的“综合法”，“流数法”仅例外一见而已①。牛顿要鼓励一般人接受这假象，主要是因为他在1711—1716年间与莱布尼兹争夺微积分发明权之时陷入两难困境：他的数学发现既未曾独立出版，又未曾在《原理》中大量应用；更糟糕的是，他认为综合法比流数分析法更严谨和高明，所以也不愿意承认两者是相当的。现在牛顿的数学手稿出版，经过细致研究我们知道，流数分析法的确是牛顿在1664—1672年间所首先发现。事实上，莱布尼兹开始研究无限小方法是在1673—1675年间，在随后两年（1676—1677）他曾经访问皇家学会，得以见到《分析法》手稿，牛顿又曾经两度写信给他讨论此法。因此他的微积分虽然是独立发现，而且出版更早，对后世的影响也更大，但其初却的确是受牛顿所启发②。

牛顿对“流数法”其初既不发表，其后又不在《原理》一书中全面采用的奇特态度，很可能是出于对古代几何学的尊重以及对“本始智慧”的向往，但也有可能是因为无法为“流数法”找到严格逻辑基础。我们

---

① 见 Hall 1996，pp. 212 - 213（“The Fable of Fluxions”）。

② 这段科学史的详细讨论，见 Guicciardini 1999，Ch. 2 - 4，9。其中第二章主要讨论牛顿的数学发现，即“流数法”，第三章讨论《原理》一书的数学结构，第四章讨论他对于几何学的态度，特别是他之认为其几何综合法是古代“本始几何学”（*prisca geometria*）的再发现，至于第九章，则是有关牛顿—莱布尼兹大争议的综述与总结；有关牛顿在此争议中的两难境地，该书 p. 100 有深刻分析。

现在知道，他从大约1675年开始详细研究欧几里德、阿波隆尼亚斯、帕布斯的典籍，并且深深服膺于其证题方法之严谨，而对“流数法”所应用的“无限小”、“无限多”、“趋于”等不能明确界定的概念感到不可靠，因此迟迟不愿采用。

八、从教授到伟人

《原理》的出版彻底改变了牛顿，令他从教授变为名人、伟人，他的世界也从宁静的剑桥圣三一学院逐渐转移到宽广、热闹、活跃，脉搏强劲得多的伦敦。

在《原理》之后

就在1685年2月，《原理》初稿进行得如火如荼之际，英王查理二世去世，强烈倾向罗马天主教的詹姆士二世（James II，1685—1688）登基。整两年后，在1687年3月，也就是《原理》开始付印的时候，詹姆士用高压手段试图将一位天主教修士不经正常程序“塞进”剑桥大学。牛顿一反二十年来埋首治学，不问世事的常态参加教授大会，并且站出来领导同事积极抗争，因此被选为两位大学代表之一赴伦敦据理申诉。翌年英国发生著名的“光荣革命”，詹姆士出亡，荷兰的威廉三世（William III，1689—1702）入主英国。当时《原理》已经出版，牛顿名声如日中天；1689年初他以众望所归姿态当选剑桥区国会议员，赴伦敦参加制宪大会（Convention Parliament），与洛克、惠更斯等名学者结交。这是他从回首天外的学者蜕变为公众人物，从剑桥转向伦敦宽广世界的开端。

因此他在1696年赴伦敦出任铸币局（The Mint）局长虽然似乎突兀，其实很自然①。这一方面因为剑桥仍然保守、停滞，充满尸位素餐的教授，

① 他在铸币局的最初职位是“总管”（warden），三年后旧任“局长”（master）去世，他才补缺转正。

不可能构成他的学术和精神世界，而位于伦敦的皇家学会却富有活力，是与欧洲学界联络的枢纽；另一方面则因为当时学者升迁途径主要仍是通过教会，但牛顿服膺异端思想，这并不可行，而铸币局差事报酬丰厚，算是很适合的位置。此时牛顿创造力鼎盛的年代已经过去，但仍然精力旺盛，不但在铸币局工作认真，在学术上亦活跃不减。他在1703年当选皇家学会会长，其后所谓“牛顿派”学者即遍据要津，控制会务；在1704年出版《光学》(*Opticks*)①，再次轰动欧洲；1713年发表经过大幅度修订的《原理》第二版②；1711—1716年间公开与莱布尼兹争夺微积分发明权，同时又强力干涉法兰姆斯蒂出版《英国天文史》(*Historia Britannica coelestis*) 的选材和进度。他君临学会的专断作风惹起许多不满和无声抗议，压制法兰姆斯蒂的企图也彻底失败。然而，正所谓瑕不掩瑜，这些性格和行事上的明显缺失无损于他的学术成就和影响。《光学》其实已经是三十多年前旧作，所报道的大部分更是将近四十年前的发现，但此前它的内容仅仅在1672年《哲学学报》论文中发表过，流传不广，因此出版之后同样轰动一时，其震撼比之《原理》有过之而无不及，可以说宰制了整个18世纪的光学研究。从1716—1717年开始，牛顿年事日高，精神日衰，生命慢慢走向结束，但他在科学上的影响，却正是方兴未艾。

欧陆的新发展

爱因斯坦是量子力学最早的倡导者之一，但后来认为它的统计性质是基本缺陷而不愿信服。然而，他的态度对量子力学发展并无显著影响。牛顿发明“流数法”，后来一力推崇几何证题方式的“综合法”，并且以此撰写《原理》，他这一态度却影响巨大，甚至在18世纪英国数学发展史

---

① 《光学》用英文撰写，经牛顿本人认可的版本共有1704年，1717年，1721年，1730年等四个，此外还有两个拉丁文版。现代标准版 Newton 1952 [1730] 是根据第四版而来。此书初版后面还附有牛顿的两篇数学旧稿，包括1691年的《论曲线求方》(*On Quadrature of Curves*)，这成为他唯一出版的数学著作，但从第二版起，这附录已经删去。

② 《原理》一共有1687年，1713年，1726年等三个牛顿自己认可的版本，其中1713年的第二版是在剑桥圣三一学院青年院士寇斯 (Roger Cotes) 协助之下修订的，历时四年之久方才完成，改正错误甚多；至于1726年的第三版则修订较少。

上留下不幸印记。《原理》发表之后他名震一时，其数学方法在英国成为典范，他的追随者也敌视分析学，遂令数学发展的领导权从英伦移往欧陆。从1710年开始，瑞士巴塞尔的伯努利（Daniel Bernoulli）学派就指出牛顿几何方法的不足，特别是缺乏处理一般性以及所谓“高阶微扰”（high-order perturbation）问题的能力；其后同一学派的欧拉（Leonhard Euler，1707—1783）出版《力学》（*Mechanica*，1736）以及《无限分析法导论》（*Introductio in analysin infinitorum*，1748），前者以分析法全面重写牛顿质点力学，后者则是第一本系统微积分教材，两者无论在符号、概念、计算方法或者理念上，都成为现代数学和物理学典范。至于牛顿的综合法则被遗忘，英国数学亦慢慢落伍，以迄19世纪才又追赶上去①。

这不幸发展的根源至少部分在于，自16世纪以来一个多世纪对“无限”的进军产生了微积分方法，却完全未能解决它的基础问题，这是牛顿向几何学回归的基本原因之一。我们现在知道，这基础性问题是相当困难的，它要在将近两个世纪之后，即到柯西（Augustin-Louis Cauchy）和魏尔施特拉斯（Karl Weierstrass）的时代才得到初步解决。而且到了20世纪初年，如罗素（Bertrand Russell）所发现和哥德尔（Kurt Gödel）所证明的那样，“无限”问题的至终基础其实仍然可望而不可即。

九、牛顿与科学革命

《原理》不但改变牛顿，也彻底改变了西方自然哲学。这不仅仅是因为它清晰严谨的论证，或者它的计算与观测结果惊人地相符合，而更因为它的结构和思想——也就是它在书名中所宣称的“哲学”：这是西方科学传统所从未出现过，将数学、观测与思想三者紧密、有系统地结合起来的崭新哲学。它不再像是从亚里士多德到笛卡儿那样，止于对某些现象的个别解释和猜测，而是提供了切实和全面理解大自然的一整套观念、方法和

---

① 在《原理》出版之后的英国与欧洲数理科学发展历史其实远比此处的简略概括复杂，详见 Guicciadini 1999，pp. 169 - 261。

架构。《原理》所辉煌和具体地展示，以及精确地验证的天体力学系统，正是这哲学无可争辩的典范。

实验哲学的理念

那么，牛顿所称为"实验哲学"（experimental philosophy）的这套观念和方法到底是怎么一回事呢?《原理》第三卷"宇宙系统"开宗明义，提出了四条"哲学推理规则"：开头两条是"化约原则"（reductionism），即以最少基本原因，来解释最大量现象；第三条是"演绎原则"（principle of deduction），即是从得之于经验的有限事物之性质或规律，可以推广到所有事物的普遍性质或规律；最后一条是"证验原则"（principle of verification），即从现象演绎出来的原理、命题可能因为被其他新发现的现象所抵触而需要修订或者变更，但却不须顾及与之相矛盾的其他假设①。这套"规则"的核心信念是：在纷纭宇宙万象背后存在极少数几条基本原理、定律，现象与原理之间有完全的、非常紧密的对应，因此从部分现象就可以得到普遍原理和定律，从而又可以了解全部的相类现象。当然，这是个非常大胆的信念，他之所以有坚强信心宣扬如此大胆信念，无疑是从《原理》第一卷论证的巨大成功得来。说到底，他的实验哲学就是个人实践经验的升华。

他这套"实验哲学"不但有正面理念，也有对立面，那就是并非由现象演绎所得的猜测、想法（即是他称为"假设"hypothesis 者）都无关重要，都不必为之浪费心思。对此，他在《原理》第三卷"整体评注"（General Scholium）中有著名论述："至今我还未能从现象发现重力规律的原因，而我不立假设；因为凡是并非从现象演绎出来的，就称为假设；在实验哲学中，无论是形而上学的或者物理性的，属于隐秘法术或者机械论的假设，都没有地位。在这哲学中个别命题是从现象推断出来，然后以归纳法使之转为普遍。"② 此话所针对的有两个不同方面：一方面是《原理》由于没有讨

① 见 Newton/Cajori 1975，ii，pp. 397 -400。

② Newton/Cajori 1962，pp. 543 -547，引文在 p. 547，作者译文。

论“万有引力从何而来”而在学者间引起的批评；另一方面则是笛卡儿和惠更斯为解释天体间之吸力而提出的“旋涡说”①，它基本上是凭想象中图像立论，而没有数学计算。很显然，前者所要求于《原理》的，和后者所主张的都正是“假设”，是并非“从现象演绎（deduce）所得”的猜测。

从虚构到现实世界

不过，除了以上的大框架以外，《原理》所显示的，还有“实验哲学”更深刻和微妙的一面，那就是柯亨所谓“牛顿风格（style）”②。他的意思是，《原理》并非从一开头就将运动定律和万有引力定律严格地应用到现实世界，因为那太复杂了。它是先将这些定律应用于高度简化、理想化的虚构世界——在其中单个质点、在源于固定中心的向心吸引力作用下运动；只是在此问题充分解决以后，它才将现实世界的复杂情况逐步引入，并且用更复杂的数学技巧加以解决。这也就是说，它然后才依次考虑：两个质点互相吸引的运动；多个质点围绕巨大中心质点的运动；球体（而非质点）所产生的万有引力；球体在万有引力作用下的运动；乃至变形球体（旋转椭圆体）所产生的引力，等等。如上文所提到，这从简而繁，从理想和虚构而逼近现实的方法，正是牛顿在撰写《原理》过程中所实际经历的过程。

整体而言，17 世纪现代科学革命，亦即牛顿革命，是个三层立体结构：在结构底层是这系统的实验哲学，或曰现代科学方法；在此基础之上是这哲学、方法的模范，亦即高度精确和具有普遍性的牛顿（亦即今日所谓“古典”）力学系统，包括纯粹建立在此基础上的原理；在结构最高层则是根据这些原理和数学计算所得对实际世界之精确了解，以

---

① 此说最先由笛卡儿在其《哲学原理》第三部分，即 Descartes/Miller & Miller 1983，Pt. III 提出，而惠更斯也在皇家科学院表示应和。它的详细论述见 Hesse 1961，pp. 102 – 108 以及下列专著：Aiton 1972。其实，惠更斯的观点与笛卡儿并不完全相同：他拒绝接受牛顿的理论，主要是因为方法论上的分歧，而牛顿在《原理》第二版提出第三、第四“推理规则”，即是对此的回应。见 Field and James 1993，Ch. 13。

② 见 Bernard Cohen 1985，pp. 165 – 170。

及从虚构世界逐步逼近现实世界的策略与方法。这结构对于以后两个世纪间的科学发展，包括化学、电学、磁学、光学、热力学等等的出现，都起了巨大示范和推动作用。

深远的思虑

牛顿最大的成就是在力学，但他的兴趣、研究、思虑其实远远超过力学。最好的例子自然是他在光学上关于颜色、折射、色散的大发现。此外，他在《光学》中还提到绕射（diffraction）实验，而且对于介质和光之间是否有超距作用作详细讨论。因此，他虽然主张光的“粒子说”，但并没有完全排除惠更斯的“波动说”。在《光学》第三卷之后，他更提出三十一条“疑问”（querries），那可以说是他在许多不同领域的思考纪录。例如，第十八问讨论热何以能够透过真空，以及光与热传播的关系；第三十问讨论物体加热后发光，因此产生了物体和光是否能够互相转换的问题。至于第三十一问，则可谓是长篇化学论文，其中有以下这样几句话：“大家都知道，物体通过重力、磁力和电力相互作用；这些例子显示了大自然的趋向和途径，也表明除此之外还有其他吸引力是并非没有可能的……我们必须先从大自然的现象发现，哪些物体会互相吸引，吸引的性质和定律是什么，然后才能够追问这吸引的原因何在。”[①] 这样看来，牛顿对于他所发动之革命在其后三个世纪的进程似乎颇有预见，然而这也可能只是表面如此，他所真正思索和考虑的，颇有可能是面向另外一个完全不同方向的问题，即宗教信仰问题。

如何显明神之作为？

上文提到，在数理科学研究之外，牛顿绝大部分时间、精力是花费于炼金术和神学。那么，对于他个人而言，这今日看来风马牛不相及的三者，到底是反映其兴趣之广泛，精力过人，还是它们的确有内在联系，因而他心目中其实有不为人知的更高远追求呢？学者多年来对牛顿手稿的细

---

① Newton 1952 [1730], p. 376.

密研究显示，这三者很可能全部都是和他的宗教信仰密切相关的[①]。

其实，17 世纪科学家都认为，追求、发现、阐明自然规律的效果，适足以显示上帝造物之奇妙与思虑周详。不过，这只是原则，实际上他们也感到，普遍、严格自然规律之存在自不免迫使上帝在创造天地之后退居无为，乃至成为“遥领地主”（absentee landlord）。笛卡儿的“机械世界观”强调世上一切事物至终都可以化约为粒子运动与碰撞，显然就有导致如此结果的危险，而《原理》又多少显示，“机械世界观”的确有成立的可能性，不过，牛顿对后者是期期不愿苟同的。他解决这自然规律冲击宗教信仰问题的一个方式，就是指出《原理》所阐明的彗星运行规律正可能是上帝毁灭地球，亦即启动“世界末日”的机制——因为彗星轨道偏心率极高，而且质量不那么大，所以容易受其他天体或者彗星的万有引力摄动，这样在重新回到近日点的时候就可能直接撞入日球，从而引起足以焚毁地球的巨大爆炸。而且，这可能也就是像日球那样的恒星在长期放射光芒与“蒸气”，因而“衰退”（wasted）之后恢复光芒的机制。因此，上帝施展大能并不需要干涉自然规律，只要稍为调校貌似混乱的远方天体位置就已经足够了[②]。

不过，创造和毁灭天地仍然是稀罕、独特的事件，上帝对于世界倘若并非大部分时间“袖手旁观”，那么就需要更多经常性但又不至于干涉自然规律的作为，这就牵涉到炼金术亦即化学甚至生物学了。为什么呢？因为在“机械世界观”之中，宇宙间只有不停碰撞的粒子，所以除非乞灵于已经被放弃的古代原子观念，即认为它们是凭借细小钩锁而互相连结，否则是绝不可能解释物体的黏结（cohesion）、凝聚（condesnsation），或者世上万千物种的自然生长变化，以及其奇妙结构功能的。那么，万物生

---

① 这方面论著见 580 页注 1。

② 《原理》第三卷用了大量篇幅讨论彗星，主要是其位置和轨道的详细计算，但亦涉及其性质和组成，见 Newton/Cajori 1962，ii，pp. 491 – 542；在此长篇论述最后部分，即 pp. 540 – 542，他直接提到 1680 年观察到的彗星有可能撞入日球，并且将此与天文上观察到的“新星”现象比拟。有关彗星在牛顿思想中的重要性，见 Dobbs 1991，pp. 230 – 243，其有关彗星与世界末日部分在 pp. 235 – 237。

化所倚靠的到底是什么呢？从牛顿的炼金术手稿，可知他认为这是基于上帝的作为，而这作为是通过充斥宇宙，具有催化、组织能力的所谓“滋长灵气”（vegetable spirit）来实施，至于实施的具体过程就是炼金术所要研究的了。对此，有几点需要说明。首先，古代炼金思想已经包含不同金属是由汞—硫二元素在地下洞穴的高温中催化酝酿而形成。牛顿在此的看法，只不过是将这过程推广到一切有组织事物包括生物而已。其次，这思想颇有继承帕拉塞尔苏斯新炼金术的痕迹——事实上，牛顿将传统的旧炼金术称为“gross alchemy”。最后，他一度受古代斯多葛思想影响，认为充斥宇宙的微细粒子即构成“以太”（aether）者，就是此“滋长灵气”。然而，“以太”之说有个严重问题，就是它无论如何细微，总不免阻碍天体运行，使得众行星或者其卫星不再准确地依循开普勒定律运转，又或者使得悬摆的周期偏离计算结果。他经过仔细研究和多种实验观测发觉这些效果都不存在，因此也就否定了“以太”的存在。在此困境中，他最后想到以“光”作为滋长灵气——从光与热、与太阳、与万物生长的密切关系，以及其传递迅速，无远弗届的性质看来，这当然是再也适当不过——更何况，这思想还可以追溯到格罗斯泰特、新柏拉图主义和奥古斯丁（见§10.3）。从此角度重读《光学》最后三十一问，则他思路背后所要说明的到底是什么，就好像可以迎刃而解了。不过，牛顿很聪明地只是作出暗示，而并没有把自己的想法明确说出来，因此以上观点也只能够是猜测而已。也许，他根本不愿意轻率地作判断吧①。

---

① 这是 Dobbs 1991 全书主旨所在，特别见 Ch. 2 以及 Epilogue 部分的综述。牛顿在这方面所发表的观点和讨论，主要见其《光学》，即 Newton 1952［1730］，pp. 370－406。但以上观点并非为所有科学史家接受，例如，Westfall 所强调的是，无论在物理学、天文学抑或炼金术研究中，牛顿所寻找的都是宇宙间的规律，而这规律本身就足以彰显上帝之大能；在他看来，牛顿在 1690－1696 年间的炼金术工作高峰正是由《原理》的巨大成功所激发。以下观点是 Westfall 文章的评论者所提出来的：“牛顿的炼金术研究是征服隐秘法术非理性世界的理性企图。他在实验室中所试图重复的，是上帝创造天地之时的物质与力量之神秘结合”（Bonelli & Shea 1975，p. 236）。Westfall 本人看法大概与此相近，虽然他没有说得如此明确。此外，有关牛顿对于“以太”与“滋长灵气”的看法，尚见 R. W. Home，“Newton's Subtle Matter”，in Field and James 1993，Ch. 12。

其实，不仅仅在化学、生物领域，就是在天文物理学的核心，他最后也向上帝回归。原因是：在否定以太和笛卡儿的“旋涡机制”以后，他始终不能够找到万有引力的根源，特别是无法解释，为何这引力能够穿过巨大星体（例如地球）外层坚固的物质，一直延伸到其内层核心的物质，而作用一点都不受影响——这一点是他从精密计算可以完全肯定的。因此，他最后认为，万有引力虽然是普遍自然规律，但它本身之所以能够无论在何处都普遍永恒有效，那就是上帝的能力使然，就是神迹①。这位虔诚的科学家很可能就是以此方式来为自己化解科学与宗教的冲突。当然，冲突不可能就此消失，它只不过是暂时蛰伏，在短短半个世纪后就将以极其猛烈的形式在启蒙运动中爆发。

牛顿的继承与叛逆

在今日，牛顿理所当然地被视为17世纪科学革命主将和现代科学开创者，科学与宗教之分道扬镳，上帝之被摈除于自然哲学以外，都是从《原理》开始②。然而，这恐怕是他自己最意料不到，也最不愿意见到的结果，因为他是以古代伟大传统的继承者、复兴者自居，而从来没有想到自己实际上会成为叛逆者。这说法最少有三层意义。在宗教上，他不但虔诚信奉基督教，而且要以自然规律颂扬上主之大能，甚至要回归古代真正的一神教传统；在自然哲学上，他深信“本始智慧”，因此认为自己的发

---

① 牛顿否定以太和旋涡说，以及暗示太阳系之有序运行当归之于上帝的论述，见 Newton/Cajori 1962，ii，pp. 543 - 547。至于他对万有引力看法的详细讨论，见 Dobbs 1991，Ch. 6，在其中有关于牛顿这方面观点更直接的征引。

② “17 世纪科学革命”成为西方近代科学史根本观念已久，然而 Dobbs 并不接受，她认为这只是后人所强加于历史者而已，见其“Newton as Final Cause and First Mover”；针锋相对地为正统史观辩护的则有 Westfall，见其“The Scientific Revolution Reasserted”，该两篇文章载于有关此论争之论文集 Osler 2000，pp. 25 - 55。在我们看来，Dobbs 的观点无疑过分激进：科学革命前后延续一百四十年之久，或者牛顿本人对其意义并不充分了解或认同，或者牛顿在炼金术花费了无量心血，显然都不构成否定此一根本以及客观存在的科学大变革之理由。

现只不过是恢复毕达哥拉斯传统；最后，在数学上，他服膺古典几何学，《原理》就是发扬此严谨方法的典范。可是，在这三大目标上他都彻底失败了：《原理》事实上颠覆了基督教权威，导致“自然神学”（deism）和启蒙运动之出现，以及此后科学与宗教之对立；毕达哥拉斯传统在17世纪之初已经由于卡索邦的发现和梅森的论战受到沉重打击，牛顿的“本始智慧”向往，其实从头便已经是明日黄花；至于他所倡导的几何论证方式，亦即“综合法”，也只是由于英国人的推崇而昙花一现，不旋踵即为学界抛弃和遗忘，而被微积分学所完全取代。因此，他心目中的继承与复兴其实都成为叛逆，他在科学上的巨大成功正就是他在终极理念上的彻底失败，两者是同一事物的两面。倘若这位科学伟人身后有知，他对自己毕生事业的长远意义竟然如此吊诡，恐怕在震惊和失落之余也不免感到啼笑皆非吧。当然，在这点上牛顿并非完全孤独：两个半世纪之后，另一位科学伟人爱因斯坦在量子问题上也遭遇了大致相同的命运。这样看来，所谓造化弄人，似乎伟人所需要承受的作弄就更为巨大。

十、科学革命的本质是什么

最后，在结束本章之前，我们还应该稍为讨论“科学革命是什么”，这由于库恩（Thomas Kuhn）《科学革命之结构》[①] 一书而成为热门问题。牛顿的《原理》促成现代科学出现，这是众所公认的科学革命。不过，这并非最早，也不是最后一次科学革命：在此之前，有我们所提出的“新普罗米修斯”数学革命与哥白尼天文学革命，在此之后，还有相对论革命与量子力学革命，它们在意义和重要性上容或不一样，却都可以被冠上“科学革命”之名。然而，它们并没有相同历程、模式或者“内在结构”。事实上，像所有历史事件一样，它们虽然不难找到共同点亦即相类似之处，但其本质都是独特的，并不服从统一模式、规律——因为这样的

① 即 Kuhn 1970［1962］。

模式根本不存在①。因此，在我们看来，库恩在其著作中提出来的所谓“范式转移”（paradigm shift）之说虽然风行一时，为许多社会学家所接受、宗奉，实际上对于了解科学史或者科学本身并无帮助，反而有歪曲、误导作用②。

我们这一观点可以从比较哥白尼、牛顿和爱因斯坦所分别发动的三个革命得到清楚验证。首先，哥白尼的“日心说”并非创新，反而是“复古”，他所超越前人例如阿里斯它喀斯者，并不在于提出新观念或者新证据，而在于在以日为宇宙中心的假设之下，大体依循托勒密的架构，作了详细计算。这也就是说，以哥白尼的模型与一千八百年以来的传统模型相比较，虽然前者在理论上显得更为“自然”和“妥帖”，但并无决定性新证据支持；另一方面，对于传统上反对“地动说”的种种理由，他也没有很坚强地反驳或者解释。在这情况下，德国学者如梅兰希顿、莱浩、波瑟等对此新说采取审慎的“一分为二”中立态度，而没有立刻全盘接受，是自然而合理的。《天体运行论》发表之后应和者却寥寥无几，直到六七十年后伽利略用望远镜观察到月球表面情况以及发现木星卫星和土星光环，从而打破古代对天体性质的成见，哥白尼的理论方才为学者所广泛接受。这可以说是一个发表之初尚缺乏坚强有力证据的“先见之明”在多年后得到证验的例子。

牛顿革命恰好相反：《原理》所提出来的，绝非一个学说或者理论，而是一整套前所未有的科学观念、态度、理论和方法，也就是一个崭新的科学体系。他这体系包含大量精确的例证，这其中有前人所已经提出和验证过的，如开普勒的行星运行定律，也有他以自己的新理论和数学计算出

---

① 库恩在其《哥白尼革命》即 Kuhn 1966 中视哥白尼《天体运行论》为所有科学革命的典范，并且认为其理论至终为其他科学家接受是基于科学家群体观念之改变而并非客观不易的因素——而且，可以推论，牛顿的理论也一样：“随着科学进步，其观念不断被摧毁和取代，在今日牛顿的观念似乎也不例外……所以，牛顿宇宙虽然比它的前驱更有力，却并不更恒久。它的历史……结构与哥白尼和牛顿所摧毁的以地球为中心的宇宙（之历史）也没有很大分别。”见该书 p. 265。

② 详细讨论见作者下列论文：《在正统与异端以外——科学哲学往何处去?》，载陈方正 2005，pp. 111 - 157。

来的，如《原理》中的月球运动理论（这是个“三体问题”）和潮汐成因理论，那都是与所有已知证据相符合，不可能怀疑、否定的。因而此书一出就立刻轰动欧洲，学者竞相阅览、学习，其被“接受”根本不是问题。至于爱因斯坦在1905年所提出来的狭义相对论，则同样包括了崭新观念和理论，也同样立刻轰动学界，并且得到物理学界广泛接受。然而，它之所以被接受，却并非由于其计算精确，或者所推导出的新结果得到证验，而完全是因为它对早已经为人熟知的公式作出非常大胆、特殊，但又完整、自洽的新解释。当然，除此之外，它也有“革命性”的新理论，即物质—能量互变公式，但那在发表之时却是尚未有任何证据的。

统而言之，这三次革命所代表的，是三个截然不同层次的变革：牛顿革命是新科学体系之出现，爱因斯坦革命（包括狭义与广义相对论，量子力学革命亦相类似）是新观念与新理论、新方法之出现，至于哥白尼革命则只是传统理论中的一个关键假设的改变而已，它对于托勒密天文学的整体架构、理论、方法都未曾产生冲击。当然，层次不同，并不表示重要性也有相应差别——就此而言，只有公元前4世纪的“新普罗米修斯革命”是和牛顿革命属于同一层次的，因为前者也同样建立了新的科学体系，那就是以“严格论证”为核心的数学，和在此基础上发展的天文学，它无论在规模、深度、问题意识上，都是以解决具体问题为目标的埃及、巴比伦科学所完全不能够比拟的。在这个意义上，这先后两次革命分别开创和结束了西方的古代—中古科学传统。

总　结

“现代科学为何出现于西方”的问题表面上千头万绪，但一言以蔽之，当可用“它是西方科学传统经历革命后的产物”作答。说准确一点，这传统当初是通过毕达哥拉斯教派与柏拉图学园的融合而形成；此后两千年间它吸引了无数第一流心智为之焚膏继晷，殚精竭虑，由是得以在不断转移的中心——克罗顿、雅典、亚历山大、巴格达、伊朗与中亚、开罗、科尔多瓦、托莱多、巴黎、牛津、北意大利、剑桥等许多不同城市、区域长期发展和累积，至终导致17世纪的革命与突破，现代科学于焉诞生。因此它是拜一个传统，前后两次革命所赐，亦即是一方面继承，另一方面叛逆“新普罗米修斯”传统的结果。我们在本书数百页篇幅中所试图说明的，亦不外这么一个基本事实。

一、西方科学大传统

以上的概括说法好像只是复述历史，其实不然：它是有实质内涵的，那就是西方科学传统的整体性。这表现于两个方面：首先，这传统并非一堆孤立观念、学说、发明、技术、人物的集合，而是从某些共同问题和观念所衍生出来的一整套理论、观察、论证、方法，它们互相结合，成为具有发展潜力与方向的有机体系，在此体系下又产生不同流派。其次，这传统有强大的延续性：它不但在某些时期内蓬勃发展，而且经过移植或者长期中断之后，仍然能够凭借其前的观念、理论，而重新萌芽、滋长。我们

认为现代科学是拜此大传统以及开创它和结束它的前后两次革命所赐，所指的就是这传统各个不同部分，以及上述历程每个主要阶段，对于促成现代科学之至终出现都各有贡献和重要性，都有如长链之一环，不可或缺。

更具体地说，公元前6世纪至3世纪是这大传统的诞生时期，在其间古希腊宗教、神话以及埃及、巴比伦远古科学传统通过融合、蜕变而产生了多个相互关联、影响的不同流派，包括自然哲学、毕达哥拉斯教派、柏拉图哲学、严格证明的数学、亚里士多德科学，以及本书未曾论及的医学等等。它们的目标、观念、取向各异，但都以理性探究为基础，形式上着重论证、问难和竞争，而且从柏拉图开始都留下了相当详细的典籍。需要强调的是，这大传统所产生的思想、方法、发现、价值取向，构成了西方文明最早、也最根本的内核部分，其影响一直延续到两千年后的哥白尼、第谷、伽利略、开普勒与牛顿——《几何原本》就是这大传统的延续性之最佳、最明显象征①。在这个宽广、活跃、激动人心的基础上，亚历山大科学家进一步在数学、静力学、天文学乃至机械学等各方面将古希腊科学发展至极致。在罗马帝国时代希腊科学的创新能力衰减了：这是新毕达哥拉斯学派和新柏拉图学派兴起、发展的时期，也是灵智教派、炼金术、魔法等“小传统”形成的阶段，它们在16世纪发生微妙而不可忽视的作用。也许更重要的是，帝国晚期编纂家虽然不能深究希腊科学、哲学的精义，却保存了它的大体观念与向往，并且将之广为传播，这成为欧洲度过五百年大混乱时期之后科学能够迅速复兴的契机。

在西罗马帝国覆灭之后三百年，希腊科学与哲学传统就为伊斯兰世界所移植和继承，并且迅即蓬勃发展。伊斯兰科学曾经被认为仅有传承之功，但时至今日，它的多方面创新已经被广泛认识和承认——我们只要想到代数学、三角学、位置记数法、光学、炼金术上的大量发明，还有图西和沙提尔对哥白尼的影响，就不可能再有任何疑惑了。同样，中古科学也

① 克伦比在《欧洲传统中的科学思维方式》中将西方科学思想方式分为六种形式，即是：从假设寻求原则与方法、以实验检验理论、以实验探究复杂现象、模型建构、通过类型学了解大自然，以及几率分析。古希腊科学思想基本上属于“假设推理”形式，但是与“类型学”和“几率分析”也有关。见 Crombie 1994，Vol. 1，xxi－xxxi。

曾经被认为无非是错误思想与反动根源，这种观念在上世纪初由于都昂的开创性工作而开始动摇，最近数十年则为更平衡和成熟的看法取代。现在我们知道，中古科学绝非没有观念和方法创新：格罗斯泰特的实验科学观念、费邦那奇的数学、西奥多里克的光学，还有邓布顿、布里丹、奥雷姆等的动力学都是强有力例证。它们说明，从抽象理论转向观测与实验证据，以及通过数学来寻求地上现象的规律这两个趋向现代观念的根本转变，都是从中古开始的。从中世纪踏入近代的转折点则是15世纪：其时由于奥图曼帝国进逼所间接造成的希腊热潮对欧洲学术产生刺激，数理科学的研究因而重新获得强大动力，这是导致现代科学革命最直接也最重要的因素。当然，除此之外，东方传入的火药、印刷术、磁针等新事物导致了王室集权、民族国家兴起、宗教革命、远航探险、知识广泛传播等无数影响深远的变化，整个欧洲的政治、社会结构亦随之发生巨变，这大环境的根本改变对于现代科学革命之出现也是有密切关系的。

以上只是粗略的梗概，在它背后和各个转折点还有许多值得探究的问题，那在以上各章只能够简略提及，甚或是必须径直略过的。这些我们在下面分别作简短讨论。

二、希腊科学：起源与停滞问题

希腊科学是现代科学遥远而强大的源头，这是本书论证的重点，也是科学史家一致公认的，虽然也并非没有异议①。我们在此讨论的是另外两个问题：首先，是希腊科学本身的起源，即它为何出现，特别是它为何会发展出具有高度理论性与批判性的特征；其次，是它的结束，亦即它为何停滞，而没有继续往前发展，在当时就完成两千年之后才珊珊来迟的现代科学之突破。

---

① 李约瑟在这方面的不同意见我们已经在“导言”讨论过，见该部分第三节；至于中国学者的类似甚至更激烈观点见席泽宗：《古希腊文化与近代科学的诞生》，《光明日报》1996年5月11日第5版；《关于“李约瑟难题”和近代科学源于希腊的对话》，《科学》1996年4月，第32－34页；《科技中国》（北京2004年12月号），第50－53页。

希腊科学的起源

希腊科学起源于公元前6至4世纪所谓“轴心时代”，然而并没有被雅斯贝斯列入“轴心文明”行列，这当是因为它以理性探究为特征，与其他主要文明之以宗教信仰或者哲理为思想模式，以人生为终极关怀不一样。因此它起源问题的重点在于“为何如此”，这比之“为何在此时”显然更有迫切性。从这个观点看来，克拉格特（Marshall Clagett）将技术进步、字母的发明亦即文字应用、对邻近远古文明的吸收，乃至其早期神话的影响，等等作为刺激希腊自然哲学发展的原因并没有很强的说服力，所以后来遭到希腊科学史家劳埃德（G. E. R. Lloyd）逐点反驳。他认为，对自然现象的好奇与探讨是许多民族所共有的，希腊科学的独特之处是对自然现象的理性论述，以及就此为本派见解与其他派别辩论、竞争。他从而指出，希腊城邦政治体制所要求的全民政治（包括法律审判）参与，以及经常性的全民宪政论辩，方才是产生这种习惯、心态的基本原因。此说重要证据之一，是希腊科学始祖泰勒斯与推行希腊宪政改革的主要人物梭伦同时代①。

劳埃德的观点虽然有新意，但似乎过分强调政治体制的影响，而忽视了更根本的因素。如所周知，希腊城邦政治是由其支离分隔的滨海地理环境造成，这环境一方面限制城邦规模，使得个人相对于城邦整体有更高地位、更大自主空间，另一方面则令依赖个人主动性的航海与贸易成为谋生的自然途径。如我们在第二章所指出，在此环境中个人心智与推理、幻想能力得以自由发挥，这可能是其发展出推理和论辩式科学的原因。因此，政治与科学之间未必有直接因果关系，但这不排除它们有共同根源，甚且是互为因果，互相促进。哲人如泰勒斯和尤多索斯在本邦获得很高的政治地位，毕达哥拉斯甚至一度成为整个南意大利政治领袖，这可以作为此观

---

① 有关技术、字母、神话等原因之提出，见 Clagett 1957，pp. 21 – 22 的简略讨论。劳埃德对希腊科学起源的整体讨论，见 Lloyd 1979，Ch. 4；他对前说的不点名批判，见同书 pp. 234 – 240；至于他有关政治体制影响科学的详细论证，则见同书 pp. 240 – 264。

点的旁证。另一方面，科学在诸大河流域文明中虽然有更为悠久的历史，却始终不能够脱离实用技术形态，那可能是在这些文明的绝对王权体制之下，个人心智难以自由发挥使然。因此，无论对于希腊或者其他古老文明，地理环境都可能是塑造政治、哲学、科学发展形态的重要乃至决定性因素。

但希腊科学独特和重要之处其实并不仅仅在自然哲学，而更在于"新普罗米修斯革命"，即以严谨论证为特征的数学，它与所有古代文明中的实用型计算都迥然相异，而这既是现代科学的最终基础，也是其起点。如第四章所详细论证，这种数学起源于无理数的发现，而根源则在毕达哥拉斯神秘教派。因此，西方科学的真正核心问题其实是：为什么公元前6世纪的毕达哥拉斯能够糅合地中海东岸那许多完全不相同的文明传统，而创造出结合宇宙奥秘探索与永生追求的这么一个特殊教派，在教派覆灭之后其精神又仍然能够通过柏拉图学园传之久远和发扬光大？本书已经对于毕达哥拉斯的背景以及上述融合、蜕变过程作了详细论述，但说到底，希腊之出现"新普罗米修斯"和印度之出现佛陀，中国之出现孔子一样，恐怕都只能够归结为广义的"轴心文明"现象，至于其"所以然"，则恐怕不是历史分析所能够充分解释、穷尽，或者化约成为更根本因素的了。

希腊科学的结束

从泰勒斯到托勒密前后有七个世纪之久。在此七百年间希腊科学蓬勃发展，获得了令人惊讶、赞叹的成果，但此后就失去创造力而陷入停滞、衰落。这是为什么？这问题在第七章已经触及：一般学者认为，衰落是由文化大环境变迁造成：以实用为尚的罗马贵族宰制了地中海世界，以信仰为尚的基督教和其他教派则俘虏了民众心灵，在这两种强大对立思潮的冲击下，希腊科学再也无法吸引第一流人才。当然，也有人认为，即使在托勒密以后，它仍然说不上"衰落"，只不过是"稳定"下来，再没有新发展而已①。

---

① 希腊科学在罗马时期只是平稳延续而非衰落之说，见 Clagett 1957，pp. 115 – 118；他所提出有关停滞的原因与这里的观点大致相合，见同书 Ch. 9，10。

与此相关但更尖锐的问题是，在阿基米德、阿波隆尼亚斯、阿里斯它喀斯诸大师的全盛时代之后，希腊科学何以不能够继续发展，当时就完成现代科学突破，反而从公元前2世纪开始，就丧失了创新活力，趑趄不前，以致要等到一千八百年之后，方才由哥白尼、伽利略、开普勒、牛顿等接续未竟的大业？这质问完全无视于伊斯兰和中古科学的重要和不可替代的贡献，所以在今天看来好像十分无理，但它出现于20世纪上半叶，也就是在此等贡献还未曾被广泛认识的时代，因此是可以理解的。而且，这问题的讨论迫使我们认识希腊科学的外在与内部两方面限制，同时也突显了现代科学突破所需要的条件①。

所谓外在限制的观点，首先由受马克思思想影响的学者法林顿（Benjamin Farrington）提出。他认为：从柏拉图和亚里士多德开始，希腊人就偏重诘难和理论，亦即企图通过单纯的推理与构想能力来理解世界，而未曾意识到观测、实验的重要性；这种思维方式是从普遍使用奴隶劳力发展出来的：它一方面令社会上层获得从容、自由探究大自然的兴趣和余暇；另一方面则养成轻视劳动、生产力和实用价值，轻忽实际观测，过分依赖思维的习惯②。至于以色列社会学家本大卫（Joseph Ben-David）则着眼于科学的社会功能。他认为，古希腊自然哲学家在社会上只是处于边缘位置的特殊人物，而并没有正常社会地位与功能，因此他们人数稀疏，学说无法广泛传播，科学亦因此无法脱离哲学而独立发展；到学宫时期这个状况改变了：王室的赞助使得科学专业化成为可能，希腊科学由是在公元前3世纪达到巅峰。但这个基础并不稳固：它是缺乏广泛社会认同的，因此随着托勒密王室衰落，科学也就迅速失去继续发展的可能性③。

从内部限制立论的观点也有不少。另一位以色列学者山布尔斯基

---

① 这方面的众多讨论，柯亨有全面介绍和评述，见 Floris Cohen 1994，§4.2，pp. 241－260。

② 这种观点首先在1944年提出，见 Farrington 1949，i，pp. 133－149。在原本出版于1936年的著作中，他只稍为提到实验与亲自动手的重要性，大部分讨论集中于宗教问题，见 Farrington 1969，pp. 130－147，并见 Sambursky 1987，pp. 227－231。

③ 见 Ben-David 1971，pp. 33－44。该书重点在于科学近代发展的比较研究，但对于科学与哲学之间的关系，以及科学通过专业化而充分发展所需要的社会条件，亦皆有深入论述。

（S. Sambursky）认为，古希腊科学尚未曾完全摆脱宗教根源，这见之于其宇宙观（例如反映于亚里士多德学说者）基本上是有机、整体相连、以目的论（teleological）为基础的，现代科学则是以数学为基础的机械性宇宙观，是高度“人为化”的“自然之解剖”，两者并不兼容：“我们将生物学化约为化学和物理学，希腊人却将生物学的观念与思想过程应用于物理现象”，因此阿基米德的实证科学缺乏进一步发展的思想环境①。然而，很吊诡的是，荷兰学者胡艾卡斯（R. Hooykaas）却认为，基督教的上帝为全能之观念，正是这种自然宗教观后来被打破的关键因素②。另外一位荷兰学者底泽斯特海斯（E. J. Dijksterhuis）则指出，希腊几何学虽然精妙，但运算方式非常落后，这须得由伊斯兰和印度数学加上其在文艺复兴时代的持续发展来补足③。总的来说，所有这些观点所共同面对的核心问题，无非就是古希腊与现代科学之间的差距，因此在讨论导致现代科学革命的各项因素时，它们都会重新浮现。

三、伊斯兰与欧洲中古科学

伊斯兰科学和欧洲中古科学是连接希腊与近代科学的关键链环，科学在这两个阶段的关键性发展已经分别在第八和第十两章讨论过。本节要讨论的，主要是以下两个问题：首先，在最新发表资料的基础上，重新审视伊斯兰科学与现代科学的关系；其次，则是大学体制在西方科学发展中的作用。

伊斯兰科学与文艺复兴

过去一个世纪间，我们对于伊斯兰科学的认识一直在修订和变化中。在其初，它只被视为古希腊与中古欧洲之间的桥梁，也就是其阿拉伯文译

---

① 详见 Sambursky 1987，pp. 231 - 244，引文见 pp. 241 - 242。

② 见 Hooykaas 1972，pp. 3 - 16。

③ 有关希腊数学缺陷的讨论，见 Dijksterhuis 1986，I：pp. 59 - 66。

本为欧洲保存了古希腊典籍；其后，它在数学、炼金术、医学等的原创性贡献逐渐被认识，但这些被认为早已经融合到中古科学中去，也就是都已经通过12世纪拉丁翻译运动“交棒”了。到20世纪50年代，上述观念再一次被打破：颇具震撼性的马拉噶学派以及撒马尔罕天文台研究显示，13—15世纪间伊斯兰天文学和数学仍然蓬勃发展，而且其成果对哥白尼有重要影响。甚至那也仍然并非定局：沙理巴（George Saliba）在其2007年新著论证，文艺复兴时代曾经有相当数目伊斯兰天文学文献和仪器流入欧洲，当时西方国家亦不乏通晓阿拉伯文的学者和技师，这就为哥白尼直接受图西和沙提尔影响的可能性提供解释；它更提醒我们，16世纪上半叶正值苏莱曼大帝在位，那是奥图曼帝国全盛时代，因此伊斯兰世界对欧洲的冲击不仅仅限于军事和政治，也大有可能及于科学与文化，虽然具体细节还有待探讨①。这样，就清楚显明，在伊斯兰和欧洲科学之间最少有三四百年（约1200—1550）甚至更长的平行发展与交流时期。因此，上世纪对于伊斯兰科学的重要性以及其活跃时期的估计，始终是严重不足的。

但这样一来，究竟是什么原因使得伊斯兰科学未能出现自发性现代科学革命，反而从16世纪开始衰落的问题就更显突出了——显然，这比之“李约瑟问题”更迫切、更重要和有意义得多，因为直至15世纪之初即卡西的时代，伊斯兰科学最少在天文学和数学方面仍然遥遥领先于欧洲是无可置疑的。对此问题沙理巴并不接受传统解释，即旭烈兀毁灭巴格达，从而彻底摧残伊斯兰科学根基之说，或者伊斯兰宗教与科学的冲突迫使后者衰落之说，因为这两件事情都发生于13世纪或以前，但此后伊斯兰科学还继续发展了两个世纪，甚至直接影响欧洲文艺复兴，而且马拉噶学派

---

① 沙理巴在Saliba 2007，pp. 196－209重新追溯哥白尼受图西、乌尔狄、沙提尔等伊斯兰天文学家影响的证据，然后在同书pp. 210－232提出当时欧洲学者和技师直接而非通过翻译受这种影响的证据，这主要是基于：（1）在欧洲各主要图书馆发现，上有拉丁文评注的多件阿拉伯天文学手稿，包括图西的《天文学论集》（*al-Tadhkira*），而这个手稿是由曾经出使伊斯坦布尔、后来曾经短期出任巴黎大学数学与东方语言学教授的波斯特尔所购藏（见499页）；以及（2）欧洲博物馆中所藏、兼有阿拉伯制部件与欧洲制部件的复合星盘。

正是在旭烈兀赞助下兴起。他自己提出来的解释则颇受李约瑟影响，其核心观念是：欧洲科学崛起和超前的关键，在于新大陆之发现以及由此带来的大量财富，这使得各国有余力资助学会，促进科学上的探讨和竞争；相形之下，土耳其、伊朗、印度等三地的伊斯兰帝国则逐渐萎缩，其科学文化的发展亦同告衰落①。

不过，这观点似乎难以解释一个基本事实，即在十四五世纪之交的卡西（1380—1429）以后，伊斯兰就再也没有产生具同等地位的伟大科学家，而这比哥伦布发现新大陆却早了大半个世纪，比美洲金银大量流入欧洲早足足一个世纪②。事实上，文艺复兴高潮正与奥图曼帝国的全盛时代，亦即自君士坦丁堡陷落以迄苏莱曼大帝统治结束（1453—1566）的一个世纪同时。在此期间伊斯兰科学容或尚未中断，却无论如何说不上再有何突出表现。更何况，从非洲和新世界获得大量财富的葡萄牙和西班牙，在此时期也没有科学上的突出表现。因此，将海外探险、财富、经济与科学发展直接挂钩，虽然像是很有吸引力，其实难以成立——最少直至17世纪末期仍然是如此③。如第八章所提出的那样（§8.10），伊斯兰科学发展之所以至迟在15世纪就碰上“玻璃幕墙”的原因，恐怕还当求之于文化因素，特别是其“高等学院”基本上以宗教取向这个事实。

欧洲大学与科学发展

从座堂学校发展出来的大学，是中古欧洲所发明的最重要、影响最深远的体制之一，它对于科学的巨大促进作用是毋庸置疑的。但说来吊诡，现代科学却大部分是在大学体制以外发展出来。例如，泰特利亚是私人数学教师；卡尔丹诺是名医；邦贝利是水利工程师；哥白尼是小城牧师；第谷是国王宠臣和受王室赞助的天文学家；开普勒曾经出任“宫廷数学家”，其后颠沛流离大半生；培根是政坛红人；笛卡儿周游列国，但主要

① 见 Saliba 2007，Ch. 7。

② 美洲财富流入西班牙以白银为主，这从1530年开始，在1580-1630年间达到高峰，见 Lynch 1984，i，pp. 129-130。

③ 这一点本大卫早已经讨论过了，见 Ben-David 1971，pp. 14-16。

倚靠家财独立生活；惠更斯家世显赫，早年家居，成名后受法国皇家科学院供养。当然，也有重要例外：伽利略和牛顿就的确是在大学校园内度过一生中最重要岁月，虽然他们在成大名之后也都各自另谋高就。不过，我们也仍然不可忘记，这些科学家在青年时代除了绝少例外，都是在大学以内奠定其一生学术基础，然后才在其外成就大学问。因此大学是社会上传授和研习知识的主要体制，这一点当无疑问①。

但为什么大学不能够在科学研究上发挥更大的作用呢？这基本上有两个原因②。首先，在观念、学风上，大学仍然是亚里士多德陈旧思想的堡垒：虽然格罗斯泰特、大阿尔伯图、布拉沃丁、邓布顿、布里丹、奥雷姆这批中世纪学者曾经提出许多新思想、新方法，但它们始终表现为个别议论、见解，无从动摇亚里士多德那庞大、无所不包的学术体系。而大学之以讲解、注释、讨论经典文本为主要授课方式，自然更日益增强亚氏经典的权威。15 世纪末掀起的新学风以数学和天文学为核心，那就意味着逐渐离开亚里士多德思维，而转向更早期，更注重数学的柏拉图和毕达哥拉斯传统回归，因此这一发展必须在守旧的大学以外另辟蹊径。甚至在受希腊热潮影响最深的意大利北部诸大学，情况也只有细微差别（见 § 11.2）。故此伽利略在帕多瓦大学如鱼得水是例外，而牛顿在剑桥则踽踽独行，绝少与同事、学生交往，遇见赏识提携他的恩师巴罗则可谓异数。

另一个原因则和科学的功能有关。直至 17 世纪初为止，科学家在社会上其实并无稳固的地位，这主要是因为科学没有明显的社会功能，反而在宗教上颇有颠覆人心之嫌，所以其声望与法律、医学、神学等专业相去霄壤。从此角度看，哥白尼在意大利研习医学与法律，卡尔丹诺以医术知名，第谷被迫攻读法律，都是为社会现实所决定，因而是顺理成章的。大学的主要功能在于训练上述各种专业人才，而科学则只不过是由于传统上有很强的尊重“四艺”的观念，才得以作为基础学科在大学课程中占一

---

① 有关此点的进一步讨论，见 Roy Porter, “The Scientific Revolution and universities”, Ridder-Symoens 1996, Ch. 13，特别是 pp. 542 – 548。

② 以下观点见 Ben-David 1971, Ch. 4 – 5。

席之地。不过，即使如此，这地位还是很重要，因为它使得科学的研习制度化、正规化、普遍化，由是为科学人才的培养建立长远、稳固的社会体制；另一方面，这从属地位又为科学研究与新发展加上先天限制，使得有才华与雄心的科学家被迫在大学以外另寻安身立命之道。

整体而言，欧洲大学体制对科学有广泛的保存、教授和传播功能，但这功能只是附带的、从属的，而且大学本身有先天的强大保守性。在此情况下，禀承中古传统的大学不能够为科学提供突破性发展的条件实不足为奇。事实上，这状态一直要到 19 世纪才出现基本转变。

四、文艺复兴科学的主轴

欧洲科学在 16 世纪开始摆脱中古大学的亚里士多德思维模式，向现代科学过渡。这个大转变到底是怎么样发生的呢？在过去一个世纪科学史家对此核心问题有各种思路，提出了许多不同看法，可以说是众议纷纭，莫衷一是。我们对此问题的讨论分为两部分：在本节对直接导致现代科学革命的三条主要轴线重作简略综述，然后在下一节讨论影响这三条轴线发展的各种因素，包括所谓“内部”与“外部”因素。

现代科学革命的成果是牛顿的《原理》，它是个庞大的体系，比之中古科学已经脱胎换骨，面目全非了。这两者之间的距离可以从三个方面认识，即微积分学、新天文学、新动力学。这三者结合成为新体系是牛顿的熔铸之功，但每一方面其实也都经历了长时期发展方才形成稳固的基础，那无疑就是牛顿所说，他立足其上，所以望得更远的巨人肩膀①。

微积分学，亦即当日所谓“流数法”、无限分析法的发展十分曲折漫长。其实，在 12—14 世纪间欧洲数学并没有进展，它的复兴要从 15 世纪的帕乔利算起，这带动了以博洛尼亚大学为中心的代数学，从而迎来解高

---

① 他这句名言来自 1676 年 2 月 5 日牛顿致胡克（Robert Hooke）的信札，原文为“倘若我望得更远，那是因为站在巨人肩膀上”，见 Newton，*Correspondence*，i，p. 416。根据索尔兹伯里的约翰（John of Salisbury），这说法原出于 12 世纪学者伯纳德（Bernard of Chartres），见 Southern 1959，p. 203。

次方程式的突破、卡尔丹诺和邦贝利的方程式论，以及数学符号革新。至于从代数学向分析学转变则与阿基米德研究的复兴密切相关：可曼迪诺在16世纪下半叶的翻译和出版是关键，这掀起了探讨计算面积、体积、曲线长度的热潮，产生了维艾特、斯特文以至下一辈的卡瓦列里、费马、沃利斯等数学家循此大方向不断推进。与此同时，笛卡儿的解析几何、纳皮尔的对数等重大发明也推波助澜。因此，在17世纪60年代微分与积分两方面都已经有许多方法、定理、结果为学者所熟知，只等待最后的突破与整合了。

新天文学的发展是三者之中最清楚、也最为人熟知的，它同样在16世纪中叶之后达到决定性阶段：哥白尼在《天体运行论》提出"地动说"，这为挑战传统天文学观念跨出了决定性一步，第谷的精密观测为新理论奠定基础，因此开普勒得以因缘际会发现行星运动三定律，其中椭圆轨道的发现对托勒密系统产生了决定性的打击；与此同时，伽利略以自制望远镜发现月球表面真实状况以及其他前所未知的天象。在此最后致命一击之下，传统天文学观念与体系终于全面崩溃。因此，对牛顿而言，新天文学观念、系统与现象都已具备，在等待他提出更基本的原理来解释这一切了。

至于动力学则毫无疑问是科学新发展之中最复杂、也最艰苦困难的部分。这并不奇怪，因为新天文学还只不过是天体运动现象的运动学（kinematic）描述，而新动力学则要为多种不同的地上运动寻求数学描述方法，亦即理清位移、时间、速度、加速度的观念与彼此关系；要探索能够"解释"这些运动的理论，最后还得找到能够同时解释天体运动与地上运动的统一架构。这个过程也是从北意大利开始：泰特利亚最先开展弹道学和抛射体轨迹研究，伽利略继而阐明落体和抛射体运动；到了17世纪，笛卡儿发扬所谓"机械宇宙观"，他和惠更斯在碰撞、圆周运动、钟摆等许多方面都有决定性贡献。在17世纪80年代之初，胡克、雷恩等意识到天体的圆周运动意味位于圆心的日球有某种吸引能力，并且将开普勒第三定律与惠更斯离心力公式结合，从而推知它是与距离平方成反比。这些都是非常重要的具体进展，但它们只是加深问题的谜团，而仍然未曾带来明显的整体解决途径。只有到了1684年中牛顿全力转向《原理》的撰

述之后，他才终于从上述令人迷惑的大量现象、现象规律和相互抵触的观念中发现“力”的本质，并且将它与运动体的惯性、动量、冲量、能量等其他观念清楚地分辨开来，同时引入万有引力作为一切重力现象的根本解释。

那么，在以上三条发展轴线背后，究竟有些什么因素在推动它们的发展，以及令牛顿获得最后的突破呢？

五、导致现代科学革命的因素

十五六世纪之交（约 1450—1550）是欧洲从中古进入近代的枢纽时期，在此期间它在政治、经济、社会、宗教、文化各方面的变迁可谓错综复杂，千头万绪，而几乎所有这些变迁都对科学产生了巨大和深远的影响。因此，要简单地将上述三条轴线的发展归根于少数几个孤立因素，不但不可能，也没有意义。我们所能够做到的，是列出主要的可能因素，然后试图辨析它们发生影响的途径；至于这些不同因素的相对重要性，则只能够作出大体判断，而无法详细辨析了。

敌人所赠送的厚礼：希腊热潮

从任何角度看来，毫无疑问，出现于 15 世纪的希腊热潮是对文艺复兴科学发展产生最直接、全面，也是最可以清晰辨认其影响的因素。纳粹党人将犹太科学家驱逐出境，这成为全球科学领导地位从德国转移到美国的契机，因此可以视为纳粹对同盟国赠送的厚礼。如上一章所详细论述，15 世纪的奥图曼帝国攻陷君士坦丁堡，消灭东罗马帝国，那也导致相类似后果：大量希腊学者在此巨变前后纷纷携同典籍移居邻近的意大利北部城邦和罗马；城邦元老、贵族也多次派遣专人东渡搜购珍本，希腊典籍的收藏、阅读、研究、翻译遂成为时尚，由是掀起古希腊文化热潮，特别是对柏拉图、毕达哥拉斯等哲学家以及对古希腊数学包括欧几里德、阿基米德和托勒密等大师著作的极大兴趣，而这就是前述三条轴线发展的共同根源。

说得具体一点，在数学方面，代数学的渊源可以追溯到法兰切斯卡和帕乔利等15世纪受希腊古典影响的画家兼人文学者；可曼迪诺和圭多波度都有意识地以复兴古代数学为己任，前者的古代典籍翻译和出版重新燃起对阿基米德数学方法，特别是其以无限切割法和归谬法来求面积、体积的热情，由是出现了从维艾特至沃利斯等推动所谓“无限分析法”的大批学者。在天文学方面则波尔巴赫和拉哲蒙坦那也直接受希腊热潮影响，特别是贝沙理安的鼓励和赞助，而哥白尼一生的事业在很大程度可以说是由在北意大利求学那六年以及与诺瓦拉的交往所决定。至于动力学研究的渊源就更清楚了：泰特利亚、圭多波度和伽利略都同样是北意大利希腊热潮孕育出来的学者。因此，我们很可以说，现代科学革命发轫于16世纪博洛尼亚、帕多瓦和乌尔比诺，而完成于17世纪剑桥。事实上，这革命过程无非就是以古希腊数学为核心的西方科学大传统持续发展之最后阶段而已——当然，在此时它已经有了完全不同于古希腊的垫脚石和社会经济环境。从此观点看，“为何古希腊科学不能够直接跨入现代”这个问题就变得容易回答了：因为这个传统在十五六世纪与在古代有巨大差异，那是由伊斯兰科学的关键性贡献造成的，如拉哲蒙坦那《三角学通论》的伊斯兰渊源，或者哥白尼所受图西和沙提尔天文学之影响，或者帕乔利所受柯洼列兹米《代数学》的影响，等等，而这些都是要到20世纪下半叶才逐步为人认识。

从上述整体观点看来，很显然，李约瑟和其他学者认为希腊数学与现代科学革命没有决定性关系的看法是全然违背事实的，因为我们所列出的所有证据都清楚地显示，导致现代科学革命的每一根轴线恰恰都是由希腊热潮，特别是希腊数学的复兴所触发。

在此，我们还应该提到19世纪末出生于俄国，第二次世界大战后移居法国并且经常在美国讲学的柯雷（Alexandre Koyré）。他在30年代深入研究伽利略，指出动力学发展的关键在于伽利略之回归柏拉图及其数学原理，认为和亚里士多德所一贯宣称的恰好相反，即使是地上现象如“运动”也同样可以通过数学（亦即几何学）得到精确不移的理解。在他看来，这才是17世纪“科学革命”的真正转折点——至于天文学新观念反而是次要的，因为以数学理解天文现象，即使在古希腊也从来

没有争议①。以此发现为基础，他首先提出了17世纪“科学革命”这个观念，并且坚决认为，并无任何理由古希腊科学不可能跨过伊斯兰和欧洲中古，而直接发展出现代科学即动力学。这乍听来似乎匪夷所思，但倘若我们记得“地动说”最先是由阿里斯它喀斯所提出来，而牛顿虽然发明了“流数法”，但他在《原理》中所应用的却仍然是古典几何学，那么也就不能够说此激进观点毫无道理了。当然，17世纪欧洲的社会文化环境与古希腊完全不一样：大学、学会以及下文将会提到的印刷术、技师与学者的协作等等新生事物，当然都对于动力学的突破有助力，不过，显然我们也无法论证这些外在的新生事物是必要条件。因此，也就不能够不承认，柯雷的纯粹“内史”观点虽然趋于极端，却仍然无法断然抹杀②。

外部因素说

当然，20世纪30年代是“外史”而非“内史”风行的时期。当时现代科学成因的讨论有两股极其强大的思潮，它们都认为，现代科学的真正根源不在科学或者文化本身，而在宗教和社会等大环境的变革，这我们统称为“整体外部因素说”。

第一股思潮的原动力来自基督教，它最少有三个不同流派，其中以都昂的中古科学研究即其十卷本《世界体系》出现最早，影响最大，观点也最激进。他是虔诚而富有战斗性格的罗马天主教徒，主要论点有二：首先，巴黎大主教谭皮尔的1277年谴责令是摧毁亚里士多德权威的关键；其次，布拉沃丁、摩尔顿学派、布里丹、奥雷姆等的运动学、力学研究是

① 柯雷的成名作是出版于1939年的《伽利略研究》，其英译本为Koyré 1978，以上论点的综述见该书pp. 201－209。但最早指出伽利略为现代科学出现之关键的并非柯雷，而是物理学家马赫（Ernst Mach）。他于1883年出版，1893年被翻译成英文的《力学科学》（*The Science of Mechanics*），即Mach 1960，就已经指出此点。在此之前的第一部系统性科学史著作为19世纪剑桥哲学家赫威尔（William Whewell）的三卷本《归纳科学史》（*History of the Inductive Sciences*），即Whewell 1967［1857］，但他所注重的是科学整体进步而非革命，因此没有突出伽利略的历史地位。

② 有关柯雷及其学说的综述，见Cohen 1994，pp. 73－88；有关他观点的讨论，见同书pp. 322－328，494－499。

伽利略力学的根源。换而言之，现代科学革命的真正源头其实是在罗马教会与中古学术，特别是巴黎大学①。其他两个流派分别以荷兰科学史家胡艾卡斯和美国社会学者默顿（Robert K. Merton）为代表。胡艾卡斯强调17世纪尊重自然现象，寻求自然规律，以及重视劳作（因而导致实验科学之出现）的心态都来自宗教意识，特别是对上帝的绝对服从；默顿则从韦伯（Max Weber）的新教伦理导致资本主义说获得灵感，认为17世纪英国科学兴起的动力最少部分也同样来自清教徒的虔诚入世伦理——其实胡艾卡斯也持相同观点②。除此之外，第十一章提到的耶茨论题（Yates thesis）认为：赫墨斯思想和魔法等“隐秘科学”（occult sciences）热潮强调人可以通过特殊知识获得神奇能力，甚至控制精灵工作，在瞬时间与远方通讯，这事实上成为宣扬科学能力，掀起科学思潮背后之巨大力量，因此也是促成科学革命的重要因素，这显然可以视为“基督教因素”的变奏。

第二股思潮的原动力则来自马克思主义。如“导论”第二节所讨论过的，马克思主义对于科学史的影响，主要是通过苏联物理学家黑森和流亡美国的维也纳学派历史学家赤尔素在三四十年代提出来的“论题”而发挥。此外上文提到的法灵顿和我们详细论述的李约瑟，其侧重点分别在古希腊科学和中国科学，但他们对现代科学革命的看法也同样是从此思潮衍生出来；甚至默顿的清教徒伦理说也同样与工匠、实验精神有密切关系，只不过他是从新教所倡导的入世精神而非资本主义来论证学者与工匠的合作罢了。此外，从社会学观点来分析科学发展的，还有上文提到的本大卫，他的《科学家之社会角色》所讨论的不只是古希腊科学，也一直延伸到中古、17世纪英国乃至现代美国科学。可惜他的注意力并不集中于科学革命，因此没有在这方面提出特殊见解。

外部因素说反映了将宗教与社会学观点引入科学史的努力，这众多理

---

① 见本书第十章的相关论述。有关都昂的生平、学说和评论，见 Cohen 1994，pp. 45 - 53，261 - 264。

② 胡艾卡斯的主要英文著作是其《宗教与现代科学之兴起》，即 Hooykaas 1972，其上述观点见该书 Ch. 4 - 5；有关胡艾卡斯和默顿的观点综述，见 Cohen 1994，pp. 310 - 321，333 - 336。

论各有其学术根源，也各有创见，原则上都可能是真确的——也就是说，它们所提到的多种外部因素都有可能从不同方面对于科学革命发生实际的推动、激发作用。问题是，它们由于本质所限，都只能够倚赖相当间接，属于提示性质的论据，而不可能得到确切证明，至于其彼此之间以及与其他因素之间的相对重要性，就更难以衡量了。事实上，除了上述“整体性”外部因素以外，还有众多“技术性”的外部因素，例如印刷术、罗盘与远航探险、火器、机械钟，等等，它们对于科学革命的促进作用最少有部分更为直接和具体得多，这在下面分别作简略讨论。

远方传来的厚礼：古腾堡革命及其他

培根在《新工具》中有一句名言：“我们应当注意各种发明的力量、效果和影响，这就古人所未知的印刷、火药和罗盘等三项而言，是再也显著不过。因为这三者改变了世界的面貌和状况。”① 很显然，这些从中国传过来的发明也改变了欧洲科学的面貌和状况，不过它们的实际影响可能各不一样，其中最明显而直接的，无疑是印刷术。

德国的古腾堡（Johann Gutenberg，1400—1468）在 15 世纪 50 年代开设印刷店，这触发了欧洲的文化与宗教革命，那是大家都熟悉的故事。我们只要记得拉哲蒙坦那雄心勃勃的科学出版大计，以及哥白尼曾经仔细研习印刷出版的波尔巴赫《新行星理论》、拉哲蒙坦那《星历》与《大汇编提要》，还有《大汇编》的吉拉德译本等多种著作，以及可曼迪诺的庞大数学翻译计划，同样是通过印刷出版来推广，就可以窥见这文化传播方式的变革对于科学产生了如何巨大冲击。由于印刷书籍的普及，16 世纪科学的学习、研究有了和以前完全不一样的条件：它的成本大大降低，抄写错误消失，传播速度提高，因而可以容许更多人参与，容许更多新观念发生影响。所以，毫无疑问，印刷术对于科学前进有难以估量的作用②。

---

① *Novum Organum*，Book I，Aphorism 129，即 Francis Bacon 1900，p. 366，作者译文。

② 有关印刷术对科学发展整体影响的详细讨论，见爱森斯坦的开创性工作：Eisenstein 1979，ii，Ch. 6－8；有关拉哲蒙坦那、哥白尼、第谷，以及他们之间通过印刷出版而发生的互动，特别见同书 pp. 578－588。

而且，在这直接冲击以外，它的间接影响恐怕也同样重要，甚至更为重要。如所周知，古腾堡革命是马丁路德宗教改革得以成功的一个最关键因素："早期改革者一旦需要广泛支持的时候，就很自然地转向印刷。没有印刷宣传品的话，很难想象这个运动可以发展得像实际那样快"，虽然对这翻天覆地的改革来说，"印刷是催化剂，是先决条件，但它本身并非原因。"不过，和"原因"其实也相差不远了，因为《圣经》的普遍化使得每一个人都有可能直接面对上帝，而这权利正是新教的基本诉求①。而对于科学革命来说，宗教革命恐怕也同样是先决条件。毕竟，罗马教会对于危险的，可能与《圣经》、教义有潜存冲突的新观念虽然也有放松警惕，甚至沉睡的时刻，例如在1533年哥白尼"地动说"在教廷演讲会上初度披露之际，或者1623—1624年间教皇、多位枢机主教对伽利略表示亲善之际都是如此。但正如哥白尼始终婉拒将《天体运行论》送往教廷的请求，而且直至临终才决定发表这部毕生巨著的奇特决定所清楚显示，教会对这些新观念有全面而巨大的抑制作用；而且，观念冲突一旦形成和表面化，像在1633年的伽利略审判中那样，罗马教会就可能变为新思想最坚定、严厉和凶猛的敌人。因此，宗教改革导致新教国家和地区出现，从而削弱罗马教会整体权威，这对于科学思想的自由发展无疑起了决定性的解放作用②。因此，印刷术通过两条不同途径对科学发生推动作用。虽然此两途都是间接的，通过宗教革命所产生的影响尤其迂回曲折，但其重要性仍然明确而不容置疑。

至于磁针亦即罗盘的影响就不那么容易确定了。磁针的神奇作用曾经深深地吸引开普勒和伽利略，为他们提供所谓"超距离作用"的例

---

① 见 Cameron 1991，pp. 6；有关印刷与宗教改革关系的详细论述，见 Eisenstein 1979，i，Ch. 4。

② 有关教廷对科学发展的抑制作用，特别是在特伦特会议之后的意大利，见 Schmitt 1984，XIV，pp. 50 -51 以及 XV，pp. 313 -315。另一方面，早期新教教会对于新科学思想也并不一定采取放任态度，但新教地区思想统制一般比较宽松，因为新教派别林立，它们对个别新思想的观点并不一致；而且新教在原则上赋予个人自由解释《圣经》的权利，因而在无形中消解了科学思想与教义的直接冲突。这方面的详细讨论见 Ben-David 1971，pp. 69 -74。

证，并使他们误认为这与月球所感受吸引力有关[1]；此外牛顿也长时间为天体引力的根源所苦恼，最后经过实验与反复思索，被迫放弃机械论和以太冲击的想法[2]，故而他不可能不注意到开普勒和伽利略的那些观念。但在提出万有引力观念的时候，他却强调这是从观测推断出来的，而拒绝对其根源作进一步猜测或者解释，由是作出上一章所引“我不立假设”的名言。因此，仅仅就17世纪科学革命而言，磁针、磁力对引力理论的发展虽然不无影响，至终则成为没有重要意义的插曲。当然，李约瑟对此问题有完全不同看法，这留待下文讨论。但是，除此之外，罗盘还可能通过更迂回的途径而对科学革命发生微妙影响，那就是它为远航所提供的巨大助力。上文提到的荷兰科学史家胡艾卡斯对葡萄牙15世纪海外探险作仔细研究之后得到下列推论：在远航探险中所发现的大量新奇事物，动摇乃至彻底摧毁了许多传统观念，例如亚里士多德认为热带不可居住，托勒密认为旱地俱在赤道以北，等等，从而为新观念、新思想的兴起铺平道路[3]。当然，这样的作用必须透过社会气氛的改变而发挥，而航海员——水手、导航员、船长，等等，如何能够影响社会乃至学者则是个大问题。无论如何，这显然是个极其缓慢、间接，而且难以直接印证的过程。

火器与实验精神第二波

促成科学革命的另一个主要因素被认为是实验精神，也就是抛弃传统观念、理论，虚心接受通过观察或者实验所发现的事实。正是这种精神，使得哥白尼、开普勒、伽利略断然打破中古思维桎梏，与托勒密天文学和亚里士多德物理学决裂。这可以说是16世纪科学的独特印记，是与古希腊数学热潮表面上相反，实际上却又相成的精神。但它是怎么样发展出来的呢？当然，实验精神最早出现于中古：格罗斯泰特、罗杰培根、佩里格林纳斯、施

① 见论述开普勒《新天文学》的 Voelkel 2001, pp. 198 - 199, 237, 244 等三处，以及 Galileo/Drake 1967, pp. 67, 95, 399 - 415 等多处。

② 见 Dobbs 1991, pp. 132 - 146。

③ 见 Cohen 1994, pp. 354 - 357 的综述。

奥多力都大力宣扬此精神或者在其鼓动下作出重要发现。然而，可能由于中古大学授课方式的影响，也可能由于社会结构的局限，这种精神并未发扬光大，反而从 14 世纪开始萎缩。因此它的兴起也属于文艺复兴“第二波”。当然，这其中原因不能够归根于希腊热潮——恰好相反，它正是上述“整体外部因素说”所最关注，也最能够发挥其观点的核心领域。

不过，实验科学背后的原动力，最少有相当部分是极可能也和东方传来的礼物亦即“技术性”外部因素有关，那就是火药与火炮的广泛应用。毫无疑问，它大大地刺激了弹道学和抛射体研究，而我们清楚地知道，这是在 16 世纪之初起源于意大利北部，而那是酷烈的“意大利战争”的主战场。出生于米兰附近的泰特利亚和乌尔比诺的圭多波度都可以说是这关系的纽带和象征：前者既是战争受害者，又是军事科学和弹道学前驱（§11.9），后者出身军事家庭，自己也曾经从军，而同样深究弹道学（§12.2），至于在比萨和帕多瓦发现动力学原理的伽利略则如所周知，是深受圭多波度赏识和大力推举、回护的学者。他们三位的背景、经历有力地说明了火炮与动力学之间的关系。此外，圭多波度不但是致力于复兴古典数学的可曼迪诺之弟子，而且他的名著《力学》也同样遵循古代几何学的严格法则，因此他又是实验精神与传统数学的交叉点，由是可见，这两者的确是可以相互补足，并行不悖的。

时间革命：机械钟的影响

被认为对科学革命有广泛影响的另一个新生事物是机械时钟，它基本上是以缓慢下落的重坠或者发条为动力源，以擒纵齿轮（escapement）为控动机制，以减速齿轮组为传动机制的装置。与古代水钟相比，它的最大优点是，无论在精确度或者微型化方面都有极大发展的可能性。这个发明的源头并不那么清楚①，我们只知道它大约出现于 13 世纪末，最初是以重坠为动力，将近一个半世纪后即 1430 年开始有发条钟出现，自此不断

---

① 关于欧洲机械钟与中国宋代苏颂水钟以及希腊古钟之间的可能关系，见本书“引论”第四节。

改进，以迄可携带的钟表出现①。

当然，16 世纪机械钟的准确程度依然有限，它可以应用于天文观测，但对于像伽利略所做的那些斜面落体实验却完全没有帮助②。因此时钟对于科学革命的影响仍然是间接的。这最少有两个不同方面：首先，时钟和其他精巧的天文仪器一样，它们的制造都是当日的“高科技”，需要科学家与技师密切合作，由是打破了学者与工匠界限，养成科学家注重实际问题，尊重经验与事实的心态。在 17 世纪惠更斯为了解决在海上测定经度的问题而通过理论研究发明高度准确的摆锤钟，甚至以特殊装置令摆长随摆幅变化以增加精确，那可以说是理论与实验，科学与技术互为表里，互相促进的最佳例证。其次，时钟的不断发展令时间观念精确化、客观化，并且可能使时间脱离其“有机性质”，也就是时间受时序、生理变化、特定天文现象等自然过程所决定的观念，而变为科学理论中的独立、抽象变量。当然，这种影响非常间接而难以论证，但其可能性与重要性自不容忽视。尤达（Joella G. Yoder）说惠更斯“以几何学家的眼睛看物理世界”，对他来说“自由坠落只不过是抛物线；速度转变为曲线；变动中世界的瞬间事件可集合成面积”，就正好说明数学和精确悬摆钟是如何深刻地影响时间和科学观念的③。

从本节的讨论可见，导致现代科学革命的直接或曰近期因素，既来自文化传承者，也有属于宗教、社会、经济和技术范畴的，整体而言，真可谓错综复杂，不一而足，倘若要单独突出或者排斥任何一个乃至一类因素，恐怕都不大可能成立或者令人信服。说到底，十六七世纪间欧洲文明经历了如此空前的动荡和变化，它的每一个层面都强烈地相互交错影响，因此很可能它们全部都是与现代科学革命有不可分割的关系。我们称之为“混沌中出现的革命”就是此意，因为我们知道，倘若系统是处于混沌状

---

① Landes 1983, pp. 76 - 84, 86 - 87.

② 根据推断，伽利略是以哼音乐拍子的方法来确定短促而固定时段的，见 Drake 1978, pp. 88 - 90。

③ 通过悬摆周期的物理学和数学研究，惠更斯是第一位精确测定时间的科学家，英国皇家学会甚至一度考虑将他的悬摆钟定为普遍时间标准，此段历史见 Yoder 1988, pp. 148 - 163。引文见该书 p. 173。

态之中，那么它的每一部分都会和所有其他部分强烈互动：而这正是混沌现象的特征。

六、万里外的另类科学革命

公元1583年欧洲科学革命正处于蓄势待发之际：哥白尼的“日心说”已经发表40年，但尚未引起重大反响，可曼迪诺已经去世，第谷在乌兰尼堡的天文观测正全面展开，伽利略刚要离开比萨大学，至于牛顿的巨著则还要足足一个世纪之后才得以面世。但对于万里之外的中国来说，这一年似乎是有非常特殊意义的，因为当时某个地方官作出大胆行政决定，因而引发了一场中国式科学革命。

那年广东肇庆知府王泮得到两广总督批准，召澳门的罗明坚（Michele Ruggieri）和利玛窦（Mateo Ricci）两位耶稣会士到肇庆，随即拨地给他们建造教堂。这在中西交通史上是一个转折点，因为它不但是天主教在近代进入中国的开端，而且也成为西方科学传入中国的契机。20年后，刚中进士的徐光启在北京跟从利玛窦学习西洋科学、历算、火器，随后两人更合作将《几何原本》前六卷翻译成中文，由是成为中国士大夫乃至皇帝讲求“西学”，亦即西方数理科学的起点①。在此后百余年间，出现了像瞿式谷（1592—?）、李之藻（1565—1630）、孙元化（?—1632）、李笃培（1575—1631）、方中通（1633—1698）、李子金（1622—约1692）、杜知耕、王锡阐（1628—1682）、梅文鼎（1633—1721）、梅文鼐（1641—?）、梅谷成（1681—1736）、庄亨阳（1686—1746）、陈厚耀（1648—1722）等一大批天算家，他们或在传教士协助下从事西方典籍翻译，或自行研究、著述，或在笃好西学的康熙皇帝赞助下参加像《数理精蕴》那样大型百科全书的编纂②。这就是席文所谓“从思想层面看，中

---

① 《原本》对17世纪中国科学有极大冲击，此译本以及其翻译过程与影响有下列专著论述：Engelfriet 1998。

② 西方科学在17世纪传入中国以及其后发展历程见《徐光启研究论文集》，即席泽宗、吴德铎 1986。

国在 17 世纪也有它自己的科学革命"①。

但是，我们应该怎样衡量这场中国式科学革命的意义和重要性呢？李约瑟对它极其重视，甚至宣称："大家都会承认，中国南方某位官员在 1583 年决定邀请在澳门待命的一些耶稣会传教士进入中国内地，那是后果极为深远的罕有历史性事件"；"西方与东方的数学、天文学、物理学一旦发生接触就很快结合。到了明末即公元 1644 年，中国与欧洲的数学、天文学和物理学之间已经再也没有任何可觉察的分别；它们已经完全熔结，它们融合了。"② 这种说法相当惊人，因为他所谓中西科学的"融合"（coalesce）所指，其实只不过是诸如南怀仁（Ferdinand Verbiest）为北京天文台建造新观测仪器，以及第谷（Tycho Brahe）的观测仪器，采用了中国传统的赤道坐标装架等极少数事例而已。其实，中国传统学术的渊源太长，力量太大，这次所谓"革命"虽然好像声势浩大，也无疑为中国科学带来了一些新方法、新观念，却没有足够力量推翻原有思维与论证模式，因此至终产生的结果只是席文所谓"传统天文学之复兴，遗忘方法之重新发现"和"新古典主义"而已③，实在远远够不上称为"科学革命"④。在这方面最有力的证明便是，与此"革命"同时出现的西方前缘科学，例如伽利略、开普勒、惠更斯、牛顿的天体运动理论、物理学、解析学，等等，直至 19 世纪中叶即两百年后，都还未曾为国人所知闻，更不要说吸收、探究；至于 17 世纪以后西方科学一日千里的进展，诸如理论力学、电磁学、热力学、化学、分析学、非欧几何学，等等，则更和同时的中国科学渺不相涉。而且，甚至到 19 世纪末年，翻译《几何原本》全书的数学家李善兰（1811—1882）也仍然坚持用自创的中文方式而非国际通行数学符号

---

① N. Sivin, "Why the Scientific Revolution did not take place in China— or didn't it?", in *Chinese Science* 5 (1982), pp. 45 - 66；引文见 p. 62。

② 引文分别见 *SCC* IV, Pt. 2, 436；以及 Needham 1970, p. 398。

③ 见前引 Sivin 论文 pp. 62 - 64。

④ 另一方面，西学冲击反倒很可能是在中国传统学术最核心部分引致了一场真正的革命，这就是乾嘉年间的汉学亦即考证学。但西学与汉学之间的关系迄未有细密与严谨的研究，因此这只能够视为猜测而已。见朱维铮：《走出中世纪》（上海：复旦大学出版社 2007），pp. 151 - 157。

来介绍微积分学，致令学子举步维艰。无怪史景迁（Jonathan Spence）在评论李约瑟观点的时候要说，“可以相当肯定地论证，在20世纪以前中国还未曾真正进入普遍有效的现代科学之世界”①，而张奠宙在中国科学现代化过程的讨论中也斩钉截铁地说：“现代中国数理科学的起点在哪里？不是李善兰。李善兰可以说是中国传统数学的光辉终点，但中国现代数学和物理学却很难从李善兰的工作中成长起来……因此，中国现代数学和物理学的事业，只能重起炉灶，从直接留学欧美开始。”② 他所举出的中国现代早期数理科学家，诸如何育杰、夏元傈、冯祖荀、李耀邦、胡明复等，都已经是20世纪初才赴欧美留学的了。因此，就中国科学发展史而言，罗明坚、利玛窦在1583年被召往肇庆，虽然好像具有无比重要的历史性意义，其实则恐怕只不过是本书开头所说，似重而实轻的事件罢了。

七、李约瑟问题的消解

西方科学在它发生根本性革命前夕以难得的机缘进入中国并且赢得士大夫和皇帝青睐，由是广为传播达一个多世纪之久，却仍然未能够在神州大地生根、发芽、滋长，更不用说触发中国科学的真正革命。这不能不令我们意识到，本书“导论”中讨论过的李约瑟“中国科技长期优胜说”和“科学发展平等观”都可能有严重缺陷。因为倘若各个文明对于现代科学的贡献都大致同等，或者中国科学在公元前1世纪至公元15世纪的确比西方远为优胜，而现代科学革命出现于西方只不过是在文艺复兴刺激下的短暂现象，那么就绝对无法解释，为何耶稣会教士所传入的西方科学没有触发中国科学更剧烈、更根本的巨变，也就是使得它在17或者至迟18世纪就全面赶上西方科学前缘，并且确实地完全融入世界科学主流。

---

① Jonathan Spence, contribution to Review Symposia, *Isis* Vol. 75, No. 1 (March 1984), pp. 180 - 189；引文见 pp. 180 - 181。有关李约瑟整个“中国科学在17世纪已经融合于世界主流”论题的批判，尚见 Cohen 1994, pp. 466 - 471。

② 张奠宙《中国数理科学百年话旧》，《二十一世纪》第七期（香港1991年10月），pp. 72 - 88，引文见 p. 79。

这是个关键问题，而且李约瑟对其中利害十分清楚，所以他在 1966 年的一篇演讲词中详细讨论此问题，并且如上面所提到，强调中国与欧洲的数理天文学早在明末即 1644 年就完全“融合”①。事实上，他还详细讨论了西方与中国各支不同科学之间所谓“超越点”（transcurrent point）与“融合点”（fusion point）的准确时间，并且用图解加以说明。现在我们清楚地看到，就数理科学和天文学而言，他的这个说法距离事实是如何之遥远。至于有关其他科学分支的问题，则柯亨也已经有详细批判，在此就没有必要重复了②。

倘若是这样，那么我们自然地就必须重新检讨“中国科技长期优胜说”到底是怎样建立起来的了。如本书“导论”所指出，“优胜说”在《大滴定》第六章开头有很严谨的意义：“从公元前 1 世纪以至公元 15 世纪之间，中国文明在将人类自然知识应用于人类实际需要的效率，要比西方高得多。”它具体所指，最主要的就是传入西方社会之后对之产生巨大影响的指南针、火药、印刷术等三种培根特别提到过的发明，以及机械定时器即苏颂的水钟，这些是李约瑟在比较中西方文明对“普世科学”（oecumenical science）贡献所绘示意图中所特别标明者③。除此之外，它自然还包括《中国科学技术史》中所详细研究、论证过的大量其他发明，包括连弩、船尾舵，马蹬、手推独轮车，等等。然而，由此进一步论证传统中国在应用技术上有许多方面领先于欧洲（假如没有忘记像罗马斗兽场、高架引水道和欧洲中古哥特式大教堂这些显著例子的话，我们恐怕也会意识到，这不可能是在所有方面领先）固然很有力，但倘若像上述文章那样，由此而逐渐改变命题重心，以至最后“滑动”到另外一个位置，即宣称中国科学与技术都比欧洲全面优胜（predominant），那就变为截然不同，也不可能成立的新命题了。

在李约瑟的论证方式中这是个核心问题，值得详细讨论。而以磁现

---

① Needham, "The Roles of Europe and China in the Evolution of Oecumenical Science", in Needham 1970, pp. 396 -418.

② 见 Floris Cohen 1994, pp. 466 -471。

③ 见 Figure 99, Needham 1970, p. 414。

象作为例子可能是最适当的，因为李约瑟对它极端重视："可是，要声称中国对这欧洲文艺复兴晚期的现代科学大突破没有贡献是不可能的，因为欧几里德几何学以及托勒密天文学虽然无可否认是发源于希腊，但它还有第三个重要部分，即有关磁现象的知识，其基础完全是在中国建立的。"磁石和磁针的性质首先由中国人发现，时间不晚于11世纪末，它为欧洲认识则不早于12世纪末，也就是在中国之后整整一个世纪，这些李约瑟有详细考证，那没有什么争议。但是，他对于这个事实的引申和解释却令人十分吃惊。他宣称，磁力提供了"超距离作用"（action at a distance）的例证，而吉尔伯特认为地球可能是一块大磁石的观念，影响了开普勒和牛顿，为万有引力观念提供了灵感，因此"在牛顿的综合中，我们几乎可以说重力是公理性的，它扩展到所有空间，正如磁力可以没有明显的中介而跨过空间发生作用。因此，中国古代的超距离作用观念，通过吉尔伯特和开普勒成为牛顿（思想）准备工作的极其重要部分"①。

这个说法表面上顺理成章，实则充满问题。首先，如上文所说，虽然开普勒和伽利略的确为磁力的神奇作用吸引，并且猜想这与天体所受引力相关，但牛顿则很清醒地拒绝对万有引力的根源作任何假设或者猜测，因此，磁现象对于17世纪科学革命即使不无关联也绝对没有发生决定性影响。其次，中国古代虽然知道磁石、磁针有恒定地指南或者指北的性质，却不可能有"超距离作用"观念，因为那是和"直接碰撞作用"（action by impact）相对，并且是由后者衍生出来。"直接碰撞作用"观念的基础是古希腊的原子论，即宇宙万物是由极其微细、不可见、也不可直接感觉的原子组成，它们的相互碰撞是一切力和运动的来源。在17世纪笛卡儿提出"机械世界观"，那便是以充斥太空的原子流亦即所谓"以太"（aether）所产生的旋涡之冲击来解释天体之间的吸引力。而磁力则显示，两块磁石之间可以超越空间而发生吸引或者排斥力量，这不是用产生碰撞作用的中间媒介能够解释的，因此称为"超距离作用"。可是，古代中国压根儿就没有"原子论"和"直接碰撞作

① 以上两段引文分别见 Needham 1970, pp. 396 – 397 与 Needham 1969, p. 74。

用”的观念，那又怎么可能平白无端地冒出相反的“超距离作用”观念呢？李约瑟在讨论物理学的《中国科学技术史》第四卷第一分册将中国古代大量有关日月盈亏、阴阳消长、精气感应、声气相通相应等观念附和于“超距离作用”①，但这些循环消长观念基本上是时间现象，并没有空间观念在其中，而他提到的感应、相通观念或需依赖充斥空间的介质传递，或者属于人事、精神而非自然事物范畴，和“超距离作用”根本不相干。因此他也不得不承认：“气这种连续介质中的波动与严格意义的超距离运动这两者之间的对立，是中国古代思想所从未认真面对的”，但他却又仍然坚持“但对中国人来说，整个宇宙是如此息息相关，因此他们倘若有理由认为这物质介质在某些特定地方不存在，那么大概也不会坚持其普遍性。”② 可是，中国古代思想从未经历古希腊巴门尼德的“存有不生不灭不动”悖论和原子论派以“大虚空”来破除此悖论的曲折历程（见§2.5—2.6）或者类似争论，因此这奇特假设对中国古人毫无意义，它只不过是将“超距离作用”投射到中国古代思想中的手段而已。

此外，李约瑟用了大量篇幅来论证中国人自古以来对于磁石的了解和应用③，但其实，古籍如《吕氏春秋》、《淮南子》、《论衡》等的有关记载都仅限于“慈石召铁”、“慈石能引铁”、“磁石上飞”、“以磁石之能连铁也”、“司南之杓”、“磁石引针”那样极其简短的一言半语，即使偶有论述，也都只是物以相类感应的粗糙观念④。即使到了宋代，提到磁石、磁针的文字大多仍然属于异志、杂志或者技术类型的简短记载，其性质可以视为认真与系统学理探究的绝无仅有。例如李约瑟所引沈括《梦溪笔谈》有关磁石的一条全文仅百余字，列于卷二十四“杂志一”，基本上只谈到制造、悬挂、支撑磁针的方法，触及原理的只有最后

---

① 分别见 *SCC* IV, Pt. I, pp. 6 – 8, 12, 29 – 33, 60, 135, 233, 236 – 237。

② *SCC* IV, Pt. I, pp. 32 – 33.

③ 这主要见之于 *SCC* IV, Pt. 1, Section 26 (i), pp. 229 – 334, 以及 “The Chinese Contribution to the Development of the Mariner's Compass”, in Needham 1970, Ch. 12。

④ 引文见刘殿爵、陈方正主编《先秦两汉逐字索引丛刊》(香港商务印书馆 1992 –) 之中该三部典籍文本。

"磁石之指南，犹柏之指西，莫可原其理"这么寥寥数语；至于曾公亮《武备总要》的一条记载，长度相若，也纯粹是叙述行军辨向所用"指南鱼"的制造方法而已①。这些与13世纪佩里格林纳斯长达十数页的《磁学书简》或者17世纪吉尔伯特《磁论》那样洋洋洒洒十数万言的专著显然是属于完全不同类型的文献②。统而言之，中国虽然首先发现磁石及其应用，但古籍仅有磁石、磁针发现、应用和制造方法的极端简略记载，西方有关文献时间较晚，却是详细、有系统的长篇现象研究和学理探讨，两者性质迥异，实在完全没有可比性。因此，上文所引"有关磁现象的知识，其基础完全是在中国建立"，或者"中国古代的超距离作用观念通过吉尔伯特和开普勒，成为牛顿（思想）准备工作的极其重要部分"那样的论断，不但西方学者无法接受，恐怕中国学者也难以居之不疑吧。

当然，如上文所已经讨论过的，磁针、火药、印刷术和许多其他中国发明传入欧洲之后，的确对于社会、经济产生了巨大和深远的影响，因此，它们也无疑间接地促成了现代科学之出现。然而，这些发明都属于应用技术范畴，它们虽然也往往牵涉某些抽象观念或者宗教、哲学传统，但这和科学亦即自然现象背后规律之系统与深入探究，仍然有基本分别。除非我们在原则上拒绝承认科学与技术之间有基本分别，否则恐怕就难以从古代中国在多项技术领域的领先来论证中国科学的"优胜"。另一方面，倘若要将《墨子》、《吕氏春秋》、《淮南子》、《论衡》、《周髀算经》、《九章算术》、《梦溪笔谈》乃至《算书九章》、《测圆海镜》这些古代经典与科学著作来与同时期西方科学、哲学典籍比较，从而来论证，自公元前1世纪以迄15世纪中国科学一直比西方优胜，恐怕也戛戛其难，要成为不可能完成的任务吧。

这样，"中国科学长期优胜说"就必须放弃了。放弃此说的最重要后果是：现代科学出现于西方这个基本事实不复是悖论，它不再意味在十六

---

① 分别见沈括撰、胡道静校《新校梦溪笔谈》（香港中华书局1987）第437条，第240页；以及《四库全书》（上海古籍出版社1987）第726册曾公亮、丁度撰《武备总要》前集卷十五，第726-468/469页。

② 有关《磁学书简》的内容以及英译，见§10.4特别是449页注2；《磁论》的英译见Gilbert 1958。

七世纪间中西科学的相对水平发生了大逆转。但这么一来，李约瑟论题就难免失去根据，李约瑟问题也连带丧失力量乃至意义，因为我们就再也不可能像在“导论”中那样，将它以“既然古代中国的科技长期领先于西方，那么为何现代科学的锦标却居然为西方夺取?”的质询形式来表达了。同时，席文的批判，即“它（李约瑟问题）是类似于为什么你的名字没有在今天报纸第三版出现那样的问题。它属于历史学家所不可能直接回答，因此也会不去研究的无限多问题之一”，也就变得尖锐和不可忽视。事实上，这就意味“李约瑟问题”之消解。

八、西方与中国科学的比较

倘若我们至今的努力没有白费，那么读者可能会同意，“现代科学为何出现于西方”这个问题的解答已经有了一点轮廓，而具有那么特殊背景与结构的李约瑟论题和李约瑟问题，也再没有必要继续困扰我们。但即使如此，仍然有一个问题是中国知识分子所无法，也不应该忘怀的，那就是我们在本书一开头所提到，由胡明复、任鸿隽、冯友兰、竺可桢等学者在20世纪上半叶所提出来的：为什么中国古代没有产生自然科学？当然，李约瑟与合作者在过去半个世纪的辉煌工作使我们深深地意识到，中国古代有大量的技术发明与成果，也不乏自然哲学以及对自然现象的探究与认识。然而，中国没有发展出西方那样的科学传统，中国古代科学至终没有获得现代突破，也是不争的事实。所以，上述问题应当修订为：在过去两千年间，中国与西方科学的发展为何出现如此巨大差别？造成此差别的基本原因何在？

这个问题的深入探讨牵涉中西文明的全面比较，那自然远远超出本节乃至本书范围，因此这必须有待于来者了①。至于我们在本书剩余篇幅所要为读者提供的，则只不过是对上述问题的几点非常粗略看法，以冀引起

① Lloyd and Sivin 2002 对古代中国与希腊科学作出比较，但此书并不借此来对“现代科学为何出现于西方”的问题加以探讨，并且暗示此问题意义不大，是不可能回答的。由于出发点迥异，我们无法评论其观点。

思考和讨论而已。

我们曾经再三强调，现代科学革命是由古希腊数理科学传统的复兴所触发，而且，倘若没有这些传统作为继续发展的轴线，那么文艺复兴时代所有其他一切因素，包括实验精神、对自然现象本身的尊重、学者与技师之间的合作，乃至印刷术、远航探险、魔法热潮等刺激，都将是无所附丽，也不可能产生任何后果。这是个最基本、也最重要的事实。从此事实往前追溯，可以很清楚地见到，公元前3世纪的亚历山大数理科学已经决定性地将西方与中国科学分别开来；从此再往前追溯，则可以见到，西方与中国科学的分野其实早在毕达哥拉斯—柏拉图的数学与哲学传统形成之际就已经决定。那也就是说，公元前5至4世纪间的新普罗米修斯革命是西方与中国科学的真正分水岭。自此以往，西方科学发展出以探索宇宙奥秘为目标，以追求严格证明的数学为基础的大传统，也就是“四艺”的传统，而中国科学则始终没有发展出这样的传统，故而两者渐行渐远，差别越来越大，以至南辕北辙，乃至成为不可比较。

那么，中国科学传统到底是怎么样的呢？这我们无法在此简单回答，但可以这样说：中国古代并非没有数学，而是没有发展出以了解数目性质或者空间关系本身为目的，以严格证明为特征的纯数学；也并非没有对于自然规律的探究，而是没有将数学与这种探究结合起来，发展出数理科学传统。不过，这说法不完全准确。中国第一部天文学典籍即《周髀算经》就是结合数学与天文模型的科学著作。然而，很可惜，它所开拓的，颇为接近于现代科学的思路，却未能在中国的文化土壤继续发展，其后竟然成为绝响①。甚至，中国也并非没有将数学应用到自然现象中：历代为建构历法而作的天文测算就曾经达到很高的精密度。然而，这些计算都是利用实测数据和内插法（interpolation）来构造数值模型

① 《周髀算经》成书于西汉，但起源可能甚早，其中部分可能在春秋以前。关于此书结构、成书经历以及后来发展的讨论，见陈方正：《有关〈周髀算经〉源流的看法和设想——兼论圆方图和方圆图》，《华夏文明与传世藏书》（北京：中国社会科学出版社 1996），第376－396页，其后收入陈方正2002，第586－605页。此后讨论《周髀算经》的尚有以下专书：Cullen 1996；曲安京2002。

(numerical model)，目标在于提高测算的精确程度，而并非在于描绘天体运行的空间图像，也就是通过空间关系来理解宇宙。虽然这些数值模型的建构可能应用非常高妙的数学，例如导致“中国剩余定理”之发现的不定分析，甚至也可能牵涉了几何模型的应用①，但这些手段始终都是为历算服务，而没有转变为发展数学或者天文学本身的动力。也就是说，以探究自然为至终目标的数理科学在中国曾经萌芽和偶一出现，但未能发展，更没有成为传统。归根究底，中国古代科学中的数学和宇宙探索是分家的：一方面，牵涉数量关系的数学与历算都以实用为至终目标，甚至术数、占卜等应用组合数学者也不例外；另一方面，以解释宇宙现象与奥秘为目标的阴阳五行、生克变化等学说，则缺乏数学思维的运用。

西方科学传统则不然：从毕达哥拉斯学派开始，数学观念就和宇宙生化、建构过程紧密结合，柏拉图的《蒂迈欧篇》就是其最贴切、最全面的体现。其后尤多索斯、阿里斯它喀斯、托勒密等所建构的天文学模型，以及阿基米德的静力学，也莫不是从同样精神发展出来；甚至在中世纪萌芽，至伽利略方才成形的动力学，亦无非是将数理精神贯彻到亚里士多德物理学上去的结果而已。因此，以新普罗米修斯革命也就是毕达哥拉斯—柏拉图传统的形成作为中西科学之间的分水岭，可以说是再也适当不过。

九、西方科学发展的特征

但是中西两大文明为何会形成如此迥异的科学传统呢？对此困难问题我们自然不可能提出完全的解答，但在其巨大诱惑力驱使下，亦不免要从本书整体出发，来作一些观察和揣测，它们可以表达为西方科学发展过程

① 有关不定分析与历法中所谓“上年积元”的关系，见曲安京 2005，第 24 - 35 页；有关中国历算中可能曾经应用几何模型的推断，见同书第 302 - 308 页，第 314 - 329 页。同一作者的最新著作《中国数理天文学》即曲安京 2008 对于历代历法的数理基础有更详细说明，然而历算家心目中之天体运行图像，以及此图像与计算方法间之关系仍然是不清楚的。

的四个特征。

古代革命之前的悠久传统

也许，西方科学史最瞩目、最令人感到震惊的，就是它的数学传统之悠久。《九章算术》是相当圆熟的实用型算书，它成形于西汉，但从内容和用语判断，一般认为起源于周秦之间，也就是不早于公元前三四世纪之间，与《几何原本》大体同时。然而，在此之前大约一千五百年，亦即中国最古老的文字甲骨文出现之前五百年，巴比伦就已经出现陶泥数学板，稍后埃及也出现林德数学手卷了。而且，这些远古数学文献所显示的数学运算能力与《九章算术》相比，最少是各擅胜场，说不上有巨大差别。因此，西方数学的起点并非在古希腊，而是在埃及的中皇朝和巴比伦的旧皇朝即汉谟拉比时期，也就是比中国要早足足一千五百年。这个观点是基于《几何原本》与巴比伦数学传统之间有明显继承痕迹，古希腊记载中不止一次提到泰勒斯、毕达哥拉斯从这两个远古文明学习数学和其他知识，以及最近有关伊斯兰代数学源头的研究①。所以埃及、巴比伦远古数学与希腊数学是一脉相承的：后者并非从公元前5世纪凭空开始，而是继承了前者，然后再经历新普罗米修斯革命而出现的结果——否则，没有其前的远古传统，何来翻天覆地的革命呢？从此观点看，中西方数学传统之迥然不同，便极有可能是与这一千五百年的起点差距密切相关。

在广袤空间中的复杂轨迹

但是，时间差距虽然可能是因素之一，完全以此来解释西方与中国科学的基本差异还不足够。最明显的反例就是：苏美尔—巴比伦数学可以说是与其文明同步发展的，然而在汉谟拉比时期的短暂开花之后它就停滞不前，再也没有令人瞩目的变化了。那么，是否还可能有其他因素导致希腊数学、科学那种非常特殊形态之出现呢？

---

① 两河流域的数学传统包括其“几何代数学”方法，自古巴比伦以至中世纪可能一直未曾中断，因此它与古希腊数学极可能是有直接关系的，见本书表5.1以及§8.3的论证。

在试图回答此问题之前，我们先要讨论西方科学传统另外一个令人瞩目的特点，那可以称为“中心转移”现象，它表现为西方科学发展往往集中于一个中心区域，而这中心是不断移动、游走，并非长期固定的。在远古时期这中心从巴比伦或者埃及转移到希腊的过程已经湮没不可考，但在希腊时期我们知道它曾经先后在爱奥尼亚、南意大利、雅典、亚历山大等四个中心区之间转移；然后它移植于伊斯兰世界，在此时期它也先后经历了巴格达、伊朗和中亚多个城市，以及开罗、科尔多瓦、托莱多等许多中心区；在转回西欧之后，它又先后经历了巴黎、牛津以至博洛尼亚、帕多瓦、佛罗伦萨等北意大利城市，最后才在十六七世纪间回转到法国、荷兰和英国。因此，西方科学传统虽然悠久，但科学发展中心却不断地在亚、欧、非等三大洲之间回环游走，它停留在任何城市或者地区的时间都颇为短暂，一般只有一两百年而已。与此密切相关的则是西方科学的文化和语言背景也因此不断转变：它最早的文献使用巴比伦楔形文字或者埃及行书体文字，其后则依次使用希腊文、阿拉伯文、拉丁文乃至多种欧洲近代语文，包括意大利文、法文、德文、英文，等等。

科学发展的这种“中心转移”和“多文化、多言语”现象所意味、所反映的是什么？那很可能是：具有非常特殊形态和内在逻辑的西方科学，必须有非常特殊的社会、环境、文化氛围和人才的结合才能够发展，但这样的结合显然是极其稀有和不稳定的，因此科学发展中心需要经常转移，以在适合其继续生长、发展的地区立足。由于广义的“西方世界”是具有复杂地理环境和包含多种民族、文化与文明的广大地区，它从来未曾真正统一于任何单独政权，因此在其中适合科学立足、发展的地区总是存在的。倘若这猜想并非无理，那么也许它还可以说明科学在诸如埃及、巴比伦、中国等大河农业文明之内发展的问题。这些文明的共同点是：幅员宽广、时间连续性强，在强大王朝的控制下地区性差异相对细小。因此，在其中具有特殊形态与目标的科学，即类似于西方传统的科学，可能无法通过转移来寻求最佳立足点，并且会由于发展受窒碍而逐渐为社会淘汰。在此“社会过滤机制”作用之下，能够长期生存、发展的，主要限于适合王朝或者社会实用目标的科技，或者能够为社会大众所认识、认同

的那些观念。在我们看来，为什么像《周髀算经》那样的数理天文学著作，和像《墨子》那样包含精巧、复杂科学观念的经典，最后都未能充分发展而成为绝响，为什么在魏晋南北朝和南宋这两个极其混乱时期中国数学反而呈现蓬勃发展的现象①，也许都可以从此得到解释。那也就是说，中西科学发展模式的巨大分别，最终可能是由地理环境所决定的文明结构差异所产生。

科学与宗教的共同根源

我们还应该提到，虽然在现代观念中科学与宗教严重对立，但那只不过是 17 世纪以来的新发展而已。在此之前，无论在西方抑或中国，科学与宗教都有密切关系，甚至可以说是共生的。毕达哥拉斯—柏拉图传统对西方科学的孕育之功，以及这个思潮在文艺复兴时代对于现代科学革命所产生的推动作用，还有基督教与科学的密切关系（诸如显示于阿尔伯图和牛顿者）我们已经言之再三，不必在此重复了。值得注意的是，西方这个将“追求永生”与“探索宇宙奥秘”紧密结合的大传统，也同样出现于中国。中国传统科学中最强大和独特的两支是中医药和炼丹术。如所周知，这两者的发展和道教都有不可分割乃至本质上的密切关系：医药是为养生全命，炼丹所求，便是白日飞升。所以毫不奇怪，葛洪、陆修静、陶弘景、孙思邈等著名道教人物同时也是杰出的炼丹师、医药家。不但如此，而且道士也同样有研习数学、天文学的传统：例如创立新天师道的北魏寇谦之与佛教人物颇多来往，因此也与印度数学、天文学之传入中国有关，并且很可能还对著名数学家祖冲之父子有影响；金元之际的刘秉忠基本上是全真道长，他曾经长期在河北邢台紫金山讲论术数、天文，培养出像郭守敬、王恂那样的历法专家②。不过，道教的科学传统还是以医药、化学为主，它涉及数理天文只是后起和附带现象，说不上是其核心关注

---

① 有关此特殊现象的详细讨论，见陈方正：《试论中国数学发展与皇朝盛衰以及外来影响的关系》，收入陈方正 2002，第 631－659 页。

② 见陈寅恪〈天师道与滨海地域之关系〉及〈崔浩与寇谦之〉，分别载其《金明馆丛稿初编》（上海古籍出版社 1980），第 1－40 页及 107－140 页；并见陈方正 2002，第 643－645 页。

点，这是它与宣扬“万物皆数”的毕达哥拉斯学派之基本分歧所在。这巨大分歧到底如何形成颇不容易解答，但在中西科学分野成因的探索中，这恐怕也是不可忽略的一条重要线索吧。

科学革命之出现

最后，西方科学传统最特殊而迥然有异于中国、印度或者伊斯兰科学之处，是在于它先后发生了两次“突变”（transmutation），即“新普罗米修斯”革命和牛顿革命。这两次革命无论在探究方法、问题意识或者思维模式上，都相当彻底地推翻了其前的传统，也因此开创了崭新的传统。没有这两次翻天覆地的突变，那么希腊科学或者现代科学都是不可能出现的。那么，为何科学革命只是在西方，而没有在任何其他文明中出现呢?这是相当根本的大问题，我们认为其解决或有可能从两个方向寻求。第一个可能方向是上述“中心转移”现象：正唯西方科学发展既有强韧久远传统，又无固定地域或者文化背景为其桎梏，因此在旧传统中注入新意从而整体改造之，使之脱胎换骨成为可能。如本书第三章所详细论证，毕达哥拉斯便是撷取诸远古文明精华，加以融会贯通，然后远走西方，将之移植于希腊在海外的文化土壤者，他的宏图为费罗莱斯和阿基塔斯所继承，而“新普罗米修斯”革命则是通过他们将教派精神移植、贯注于柏拉图学园而完成。同样，从 16 世纪中期开始，欧洲各地的科学发展风起云涌，诸如意大利、德国、法国、荷兰都人才辈出，然而至终能够精研覃思，综会各家学说而神奇变化之，得以完成现代科学突破的，反倒是独守寂静剑桥校园达三十五载之牛顿。

第二个可能方向则是宗教。毕达哥拉斯视宇宙奥妙之探索为超脱轮回，获得永生之道，其教派视数学发现为绝顶秘密，相传泄露此秘密者甚至可以被处死。那么对于学园内外的教派传人而言，数学与天文奥秘、规则是如何值得凝神竭智，毕生全力以赴的头等大事也就不言而喻了。同样，如最近数十年的深入研究所揭露，牛顿不仅仅究心于科学探索，其宗教信仰之认真、坚定也远远超乎想象：他不但花费大量精力于炼金术以求窥见上帝的生化创造之功，更力图从自然法则中寻找世界末日的根据，甚至甘冒天下

之大不韪与革职危险而坚守阿里乌派信仰。毕达哥拉斯和牛顿这两位先后触发科学革命的人物都具有无比强烈之宗教意识与向往，那自然不免令我们奇怪，这到底是巧合，抑或有更深意义在其中呢？例如，科学大突破需要焚膏继晷，废寝忘餐的苦思冥索，这精神上之高度与长时间集中对于常人而言是极其不自然，甚而根本无法做到的事情，但在宗教热诚驱动下，或者在宗教意识的移情作用下，则很有可能变为自然。况且，具有强烈宗教信仰的人往往也具有坚执不挠、百折不回的禀赋，只要其信仰与科学探索所需要的开放心态没有抵触，那么这两方面也就可能相通而相成了。因此，宗教与科学的密切关系也有可能是科学革命只出现于西方的原因。

当然，以上两个方向都只可视为因何科学革命只发生于西方文明的一种揣测，至于其实际发生所需要的充分条件，则如以上第五节的讨论所显示，是非常复杂而绝不可能简单归纳于少数原因的。

* * * * * *

中国人最初接触西方科学是从 17 世纪开始，也就是与现代科学的出现同时，至今已经超过三个世纪了。在此数百年间，国人对于西方科学的看法经历了三次根本转变：在 16 世纪认为它可学但又需发扬传统科学而超胜之；在 20 世纪上半叶则通过在西方留学的知识分子而生出“中国古代无科学”的感觉；自 50 年代以来，却由于李约瑟庞大研究的影响而令不少人认为，长期以来中国古代科学比西方优胜，其落后只不过是文艺复兴以来的事情而已。很显然，这多次转变都是由于对西方科学和它的发展史认识不足所致。这并不值得惊讶，因为西方科学并非只是其众多学术领域里面的分支，而是其整个文明精神的体现。要真正认识西方科学及其背后的精神，就需要同时全面地了解西方哲学、宗教，乃至其文明整体。这十分高远的目标并非本书所能企及，我们在此所敢于尝试的，只不过是朝此方向跨出小小一步而已。倘若它能够唤起国人对此问题的注意和兴趣，那么本书的目标也就达到了。

参考文献

征引凡例 （1）古代文献：经典一般注作者，书名及通行抄本之公用页数及行数，例如 Aristotle，*Metaphysics* 1091a12；在不致引起混淆时仅注书名及章节，例如 *Timaeus* 80AB；或注作者及章节，例如 Proclus 65ff。（2）其他古代文献注作者/译者、出版年份及页码，或书名及章节，或两者并列，例如 Ptolemy/Toomer 1998，223 = *Almagest* H362。（3）现代文献注作者、出版年份，以及页码或章节，例如 Burkert 1985，pp. 75 – 84；Guthrie 1962，Ch. 4。（4）经常使用之简写：DSB/Ptolemy/Toomer 指 *Dictionary of Scientific Biography* 中之 Ptolemy 条目，作者为 Toomer；Xenophanes Fr. 23 – 26 指 Freeman 1962 书中有关 Xenophanes 之 fragments 23 – 26。（5）Bk 指书之卷数；Pt. 指书之分部，包括每部独立成册者。

古代文献

以下所列古代文献以英译本为限。本书中古代文献译文除另有注明者以外，俱由作者根据下列文本自行翻译，其出处依惯例注明篇名及行数（前苏格拉底哲学家则注明哲学家以及残篇序号），不列出版资料。

Abu Kamil. *The albegra of Abu Kamil.* Martin Levey, transl. Madison: The University of Wisconsin Press 1966.

Adelard of Bath. *Adelard of Bath, Conversations with his Nephew.* Charles Burnett, ed. & transl. Cambridge: Cambridge University Press 1998.

Alberti, Leon Battista. *On Painting.* J. R. Spencer, transl. New Haven: Yale

University Press 1977.

Albertus Magnus. *On Animals: A Medieval Summa Zoologica.* 2 vols. Kenneth F. Kitchell Jr. & Irven Michael Resnick, transl. Baltimore: Johns Hopkins University Press 1999.

Alfonsine Tables. See Chabas & Goldstein 2003（现代文献）.

Alhazen. *The Optics of Ibn al-Haytham. Books I-III, On Direct Vision.* 2 vols. A. I. Sabra, transl. London: Warburg Institute 1989.

Ancilla to the Pre-Socratic Philosophers. See Freeman 1962.

Appolonius of Perga. *Appolonius Conics Book I-IV.* 2 vols. R. Catesby Taliaferro & Michael Fried, transl. Dana Densmore, ed. Santa Fe, NM: Green Lion Press 2002.

—— *Conics, Book V to VII: the Arabic translation of the lost Greek original in the version of Banū Mūsā.* 2 vols. G. J. Toomer, ed. with transl. New York: Springer-Verlag 1990.

Archimedes. *The Works of Archimedes with the Method of Archimedes.* Thomas Heath, ed. New York: Dover 1912 [1897].

Aristarchus. Thomas Heath, ed. and transl. *On the Sizes and Distances of the Sun and Moon.* See Heath 1981.

Aristotle. *The Complete Works of Aristotle*, 2 vol. Barnes, Jonathan, ed. Princeton: Princeton University Press 1995 [1984].

亚里士多德著，苗力田主编：《亚里士多德全集》，十卷，中国人民大学出版社 1997。

Aristoxenus. *The Harmonics of Aristoxenus.* Henry Stewart Macran, ed. Hildesheim: Olms 1990 [Clarendon Press 1902].

Augustine, St. *City of God.* M. Dods, transl. New York: Random House 1950.

Avicenna. *A Treatise on the canon of medicine of Avicenna.* O. Cameron Gruner, ed. & transl. Birmingham, Alabama: The Classic of Medicine Library reprint 1984 [1930].

Bacon, Francis. *Advancement of Learning and Novum Organum.* London: the

Colonial Press 1900.

—— *The Advancement of Learning and New Atlantis.* London: Oxford University Press 1951.

—— *The New Organon and Related Writings.* New York: The Bobbs-Merrill Company 1960.

Bacon, Roger. *Opus Majus of Roger Bacon.* 2 Pts. Robert Belle Burke, transl. Philsdelphia: University of Pennsylvania Press 1928. Kessinger Publishing's Rare Reprints 2006.

—— *Roger Bacon's Philosophy of Nature: A Critical Edition, with English Translation, Introduction, and Notes, of* De multiplicatione specierum *and* De speculis comburentibus. David C. Lindberg, ed. & transl. Oxford: Clarendon Press 1983.

—— *Roger Bacon and the Origins of Perspectiva in the Middle Ages: A Critical Edition and English Translation of Bacon's Perspectiva with Introduction and Notes.* David C. Lindberg, ed. & transl. Oxford: Clarendon Press 1996.

Bede the Venerable. *The Ecclesiastical History of the English People.* Judith McClure and Roger Collins, ed. Oxford: Oxford University Press 1994.

Bradwardine, Thomas. *Tractatus de Proportionibus: Its Significance for the Development of Mathematical Physics.* H. Lamar Crosby, Jr., ed. & transl. Madison: The University of Wisconsin Press 1955.

Cardano, Girolamo. *Ars Magna or the Rules of Algebra.* T. Richard Witmer, transl. New York: Dover Publications 1993.

—— *The Book of My Life.* Jean Stoner, transl. London: Dent & Sons 1931.

Cassiodorus. *Cassiodorus: Institutions of divine and secular learning and On the soul.* James W. Halporn, transl. Liverpool: Liverpool University Press 2004.

The Chaldean Oracles. Text, translation and commentary by Ruth Majercik. Leiden: E. J. Brill 1989.

Chuquet, Nicolas. *Mathematical Manuscript completed in* 1484 *including The*

Triparty. See Flegg, Hay & Moss 1985.

Copernicus, Nicholas. *On the Revolutions*. Edward Rosen, transl. & comment. Baltimore: Johns Hopkins University Press 1992.

—— *Three Copernican Treatises: The Commentariolus of Copernicus, The Letter against Werner, The Narratio prima of Rheticus*. Edward Rosen, transl. New York: Columbia University Press 1939.

哥白尼著，叶式辉译：《天体运行论》，陕西人民出版社/武汉出版社 2001。

Descartes, René. *The Geometry of Rene Descartes with a facsimile of the first edition*. David Eugene Smith & Marcia L. Latham, transl. New York: Dover Publications 1954.

—— *Principles of Philosophy*. Valentine Miller & Reese Miller, transl. Dordrecht, Holland: Reidel c. 1983.

Diels, H. and Kranz, W., ed. *Die Fragmente der Vorsokratiker*, 3 vols. Berlin 1951 – 1952.

Diogenes Laertius. *Lives of Eminent Philosophers*. 2 vols. Hicks, R. D., transl. London: Heinemann 1965.

第欧根尼：《名哲言行录》，吉林人民出版社 2003。

Diophantus. *Books IV to VII of Diophantus' Arithmetica: in the Arabic translation*. Jacques Sesiano, transl. Heidelberg: Springer-Verlag c. 1982.

Euclid. *The Thirteen Books of Euclid's Elements*. 3 vols. Thomas Heath, transl. with Introduction and Commentary. New York: Dover 1956.

—— *The Euclidean Division of the canon*. Andre Barbera, transl. and ed. Lincoln: University of Nebraska Press 1991.

—— *Euclid's Phaenomena: a translation and study of a Hellenistic treatise in spherical astronomy*. J. L. Berggren & R. S. D. Thomas, transl. New York: Garland 1996.

—— *The Arabic Version of Euclid's Optics*. 2 vols. Elaheh Kheirandish, ed. & transl. New York: Springer c. 1999.

—— *Dedomena-Euclid's Data, or, The importance of being given*. C. M. Taisbak,

transl. Copenhagen: Museum Tusculanum Press 2003.

欧几里德著，蓝纪正、朱恩宽译：《几何原本》，陕西科学技术出版社 1990；台北九章出版社 1992。

Fibonacci. *Fibonacci's Liber Abaci.* L. E. Sigler, transl. New York: Springer-Verlag 2002.

Fragmente der Vorsokratiker. See Diels and Kranz 1951.

Galileo Galilei. *Dialogues Concerning Two New Sciences.* Henry Crew & Alfonso de Salvio, transl. New York: Dover Publications 1952 [1914].

—— *On Motion and on Mechanics, Comprising De Motu and Le Meccaniche.* I. E. Drabkin and Stillman Drake, transl. Madison: The University of Wisconsin Press 1960.

—— *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems-Ptolemaic & Copernican.* Stillman Drake, transl. Berkeley: University of California Press 1967.

—— *Sidereus nuncius or the Sideral Messenger.* Albert van Helden, transl. Chicago: The University of Chicago Press 1989.

Gilbert, William. *De Magnete.* P. Fleury Mottelay, transl. New York: Dover 1958.

Gilgamesh Epic. See George 2003 (现代文献).

Hermetica: The Greek Corpus Hermeticum and the Latin Asclepius in a New English Translation. Brian P. Copenhaver, transl. Cambridge: Cambridge University Press 1992.

Herodotus. *The Histories.* Aubrey de Selincourt, transl. Harmondsworth: Penguin 1959.

Homer. *The Odyssey.* George H. Palmer, transl. Cambridge: The Riverside Press 1921.

—— *The Iliad.* Richmond Lattimore, transl. Chicago: The University of Chicago Press 1951.

Huygens, Christiaan. *The Pendulum Clock or Geometrical Demonstration of the Motion of Pendula as Applied to Clocks.* Richard J. Blackwell, transl. Ames: The Iowa State University Press 1986.

Iamblichus. *De mysteriis*: *Iamblichus on the mysteries of the Egyptians, Chaldeans, and Assyrians*. Thomas Taylor, ed. & transl. San Diego 1984.

—— *The Theology of Arithmetic*: *on the Mystical, Mathematical and Cosmological Symbolism of the First Ten Numbers*. Robin Waterfield, transl. Grand Rapids, Michigan: Phanes Press 1988.

—— *The Exhortation to Philosophy, including the Letters of Iamblichus and Proclus' Commentary on the Chaldean Oracles*. Thomas Moore Johnson, transl. Grand Rapids, Michigan: Phanes Press 1988.

—— *On the Pythagorean Way of Life*: *Text, Translation, and Notes*. John Dillon and Jackson Hershbell, transl. Atlanta: Scholars Press 1991.

Ibn al-Nadim. *The Fihrist of al-Nadim*: *a tenth century survey of Muslim culture*. 2 vols. Bayard Dodge, ed. & transl. New York: Columbia University Press 1970.

Isidore. *The Etymologies of Isidore of Seville*. Stephen A. Barney, transl. New York: Cambridge University Press 2005.

Kamil, Abu. *The Algebra of Abu Kamil*: *Kitab fi al-Jabr wa'l-muqabala, in a Commentary by Mordecai Finzi*. Martin Levey, transl. & comment. Madison: University of Wisconsin Press 1966.

Al-Kashi. *The Planetary Equatorium of Jamshid Ghiyath al-Din al-Kashi*. E. S. Kennedy, transl. & comment. Princeton: Princeton University Press 1960.

Kepler, Johannes. *The six-cornered snowflake*. Colin Hardie, transl. & ed. Oxford: Clarendon Press 1966.

—— *New Astronomy*. William H. Donahue, transl. Cambridge: Cambridge University Press 1992.

—— *Epitome of Copernican Astronomy & Harmonies of the World*. Charles Glenn Wallis, transl. Amherst, N. Y.: Promethus Books 1995.

—— *The Harmony of the World*. E. J. Aiton, A. M. Duncan, J. V. Field, transl. Philadelphia: The American Philosophical Soceity 1997.

al-Khuwarizmi. *Robert of Chester's Latin Translation of the Algebra of al-Khuwarizmi with an Introduction, Critical Notes and an English Version by Louis Charles Karpinski*. London: Macmillan 1915.

Lucretius. *Of the Nature of Things*. W. E. Leonard, transl. New York: Dutton & Co. 1950.

卢克莱修著，方书春译：《物性论》，北京商务印书馆 1981。

Macrobius. *Commentary on the Dream of Scipio*. William Harris Stahl, transl. New York: Columbia University Press 1952.

Mirandola, Pico della. *On the Dignity of Man*. Charles Glenn Wallis, transl. Indianapolis: Hackett Publishing 1998 [1965].

The Nag Hammadi Library in English. Members of the Coptic Gnostic Library Project, transl. and introd. San Francisco: Harper & Row 1988.

Newton, Isaac. *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. New York: Dover Publications 1952 [1730].

—— *Correspondence*. 5 Vols. H. W. Turnbull and others, ed. Cambridge: Published for the Royal Society at the University Press 1959–1975.

—— *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and His System of the World*. 2 vols. Florian Cajori, transl. Berkeley: University of California Press 1962.

—— *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*. I. Bernard Cohen and Anne Whitman, transl. Berkeley: University of California Press 1999.

牛顿著，王克迪译，袁江洋校：《自然哲学之数学原理》，北京大学出版社 2006。

Nicomachus. *Introduction to Arithmetic*, in "Great Books of the Western World", No. 11. Chicago: Encyclopaedia Britannica c. 1952.

Oresme, Nicole. *De proportionibus proportionum and Ad pauca respicientes*. Edward Grant, ed. & transl. Madison: University of Wisconsin Press 1966.

Pappus of Alexandria. *Book 7 of the Collection*. 2 pts in 2 vols. Alexander Jones,

ed. & transl. New York: Springer-Verlag 1986.

Paracelsus. *Selected Writings.* Jolande Jacobi, ed. Princeton: Princeton University Press 1988.

Plato. Jowett, B., transl. *The Dialogues of Plato*, 2 vol. Random House 1937 [1892].

柏拉图著，王晓朝译：《柏拉图全集》，五卷，台北左岸文化出版社 2004；四卷本：中国人民出版社 2001—2003。

Pliny the Elder. *Natural History: with an English translation.* 10 vols. H. Rackham, transl. & ed. London: Heinemann, 1938-1963.

Posidonius. *Posidonius I. The Fragments* (Vol. 1); *II. The Commentary* (Vol. 2 in 2 Pts). L. Edelstein and I. G. Kidd, ed. Cambridge: Cambridge University Press 1972.

Proclus. *A Commentary on the First Book of Euclid's Elements.* Glenn R. Morrow, transl. Princeton: Princeton University Press 1970.

—— *The Elements of Theology.* E. R. Dodds, transl. Oxford: Clarendon Press 1992 [1933].

Pseudo-Geber. *The Summa Perfectionis of Pseudo-Geber.* William R. Newman, transl. & study. Leiden: Brill 1991.

Ptolemy. *Geography of Claudius Ptolemy.* E. L. Stevenson, transl. New York 1932 [Reprint New York 1991].

—— *Tetrabiblos.* F. E. Robins, ed. & transl. London: Heinemann 1964 [1940].

—— *Ptolemy's Almagest.* G. J. Toomer, transl. and annot. Princeton: Princeton University Press 1998.

—— 2000a: *Ptolemy's Geography: An Annotated Translation of the theoretical Chapters.* J. Lennart Berggren and Alexander Jones, transl. and annot. Princeton: Princeton University Press 2000.

—— 2000b: *Ptolemy Harmonics.* Jon Solomon, transl. and comment. Leiden: Brill 2000.

Pythagorean Sourcebook and Library. See K. S. Guthrie 1987 (现代文献).

Regiomontanus. *On Triangles*. Barnabas Hughes, transl. Madison: University of Wisconsin Press 1967.

Stevin, Simon. *Principal Works*. 5 vols. E. J. Dijksternhuis et al, ed. and C. Dikshoorn, transl. Amsterdam: C. V. Swets & Zeitlinger 1955.

Strabo. *The Geography of Strabo*. 8 vols. Horace Leonard, transl. London: Heinemann 1917–1933.

Al-Tusi. *Nasir al-Din al-Tusi's Memoir on Astronomy* (*al-Tadhkira fi ͨilm al-hay'a*). 2 vols. F. J. Ragep, ed. & transl. New York: Springer-Verlag 1993.

Vasari, Giorgio. *The Lives of the Artists*. J. C. Bondanella and P. Bondanella, transl. Oxford: Oxford University Press 1991.

Vitruvius. *Vitruvius: ten books on architecture*. Ingrid D. Rowland, transl. New York: Cambridge University Press 1999.

现代文献

Afnan, Soheil M. *Avicenna: His Life and Works*. London: Allen & Unwin 1958.

Aiton, E. J. *The Vortex Theory of Planetary Motion*. London: MacDonald 1972.

Allen, Michael J. B. *Plato's Third Eye: Studies in Marsilio Ficino's Metaphysics and its Sources*. London: Variorum 1995.

Armitage, Angus. *Copernicus: The Founder of Modern Astronomy*. New York: Thomas Yoseloff 1957.

Baker, Herschel. *The Image of Man: A Study of the Idea of Human Dignity in Classical Antiquity, The Middle Ages, and the Renaissance*. New York: Harper & Row 1947.

—— *The Wars of Truth: Studies in the Decay of Christian Humanism in the Earlier Seventeenth Century*. Cambridge: Harvard University Press 1952.

Ball, Philip. *The Devil's Doctor: Paracelsus and the World of Renaissance Magic and Science*. New York: Farrar, Straus and Giroux 2006.

Barraclough, Geoffrey. *The Origin of Modern Germany*. New York: Norton

1984.

Ben-David, Joseph. *The Scientist's Role in Society: A Comparative Study*. Engelwood Cliffs: Prentice-Hall 1971.

Bender, Thomas, ed. *The University and the City: From Medieval Origins to the Present*. Oxford: Oxford University Press 1988.

Berggren, J. L. *Episodes in the Mathematics of Medieval Islam*. New York: Springer-Verlag c. 1986.

Berman, Harold J. *Law and Revolution: the Formation of the Western Legal Tradition*. Cambridge: Harvard University Press 1983.

伯尔曼著，贺卫方等译：《法律与革命》，中国大百科全书出版社 1993。

Blumenthal, Uta-Renate. *The Investiture Controversy: Church and Monarchy from the Ninth to the Twelfth Century*. Phildelphia: University of Pennsylvania Press 1988.

薄树人：《中国天文学史》，台北：文津出版社 1996。

Bonelli, M. L. Righini and Shea, William R., ed. *Reason, Experiment, and Mysticism in the Scientific Revolution*. New York: Science History Publications 1975.

Bouwsma, William J. *Concordia Mundi: The Career and Thought of Guillaume Postel* (1510–1581). Cambridge: Harvard University Press 1957.

Bowra, C. M. *Tradition and Design in the Iliad*. Oxford: Clarendon Press 1950 [1930].

Boyer, Carl B. *The History of the Calculus and its Conceptual Development*. New York: Dover 1959.

—— *A History of Mathematics*. Princeton: Princeton University Press 1985.

—— *The Rainbow: From Myth to Mathematics*. Princeton: Princeton University Press 1987 [1959].

Boys-Stones, G. R. *Post-Hellenistic Philosophy: A Study of its Development from the Stoics to Origen*. Oxford: Oxford University Press 2001.

Brinton, Selwyn. *The Golden Age of the Medici*. Boston: Small, Maynard &

Co. c. 1926.

Brooke, Christopher. *The Twelfth Century Renaissance.* London: Thames and Hudson 1969.

Bullough, Vern L. *The Development of Medicine as a Profession: the Contribution of the Medieval University to Modern Medicine.* Basel: Karger 1966.

Burkert, Walter. *Lore and Science in Ancient Pythagoreanism.* E. L. Minar, Jr., transl. Cambridge: Harvard University Press 1972 [German edition 1962].

—— *Greek Religion.* John Raffan, transl. Cambridge: Harvard University Press 1985 [German edition 1977].

—— *The Orientalizing Revolution: Near Eastern Influence on Greek Culture in the Early Archaic Age.* M. E. Pinder & W. Burkert, transl. Cambridge: Harvard University Press 1992.

Burnett, Charles & Contadini, Anna, ed. *Islam and the Italian Renaissance.* London: The Warburg Institute 1999.

Butler, Alfred J. *The Arab conquest of Egypt and the Last Thirty Years of the Roman Dominion.* Oxford: Clarendon Press 1902.

Butterfield, H. *The Origins of Modern Science*, 1300 - 1800. London: Bell & Sons 1958.

Cameron, Euan. *The European Reformation.* Oxford: Clarendon Press 1991.

Canfora, Luciano. *The Vanished Library.* Martin Ryle, transl. Berkeley: The University of California Press 1989.

Caspar, Max. *Kepler.* C. Doris Hellman, transl. & ed. New York: Dover 1993.

Chabas, Jose & Goldstein, Bernard R. *The Alfonsine Tables of Toledo.* Boston: Kluwer Academic Publishers 2003.

Chadwick, John. *The Mycenean World.* Cambridge: Cambridge University Press 1976.

Chandrasekhar, S. *Newton's Principia for the Common Reader.* Oxford: Clarendon Press 1995.

Chejne, Anwar G. *Muslim Spain: Its History and Culture.* Minneapolis: The

University of Minnesota Press 1974.

陈方正:《站在美妙新世纪的门槛上》,辽宁教育出版社2002。

——《在自由与平等之外》,北京大学出版社2005。

Cherniss, Harold. *The Riddle of the Early Academy.* New York: Garland Publishing 1980 [1945].

Christianson, Gale E. *In the Presence of the Creator: Isaac Newton and His Times.* New York: The Free Press 1984.

—— *Isaac Newton.* Oxford: Oxford University Press 2005.

Christianson, J. R. *On Tycho's island: Tycho Brahe and his assistants, 1570–1601.* New York: Cambridge University Press 2003.

Clanchy, M. T. *Abelard, a Medieval Life.* Oxford: Blackwell 2002 [1997].

Clagett, Marshall. *The Medieval Science of Weights.* Madison: University of Wisconsin Press 1952.

—— *Greek Science in Antiquity.* London: Abelard-Schuman 1957.

—— *The Science of Mechanics in the Middle Ages.* Oxford: Oxford University Press 1959.

—— ed. *Critical Problems in the History of Science.* Madison: The University of Wisconsin Press 1962.

—— *Archimedes in the Middle Ages.* Vol I: *The Arabo-Latin Tradition.* Madison: The University of Wisconsin Press.

—— *Studies in Medieval Physics and Mathematics.* London: Variorum Reprints 1979.

Clulee, Nicholas H. *John Dee's Natural Philosophy: Between Science and Religion.* London: Routledge 1988.

Cohen, H. Floris. *The Scientific Revolution: A Historiographical Inquiry.* Chicago: University of Chicago Press 1994.

Cohen, I. Bernard. *Revolution in Science.* Cambridge: Harvard University Press 1985.

—— and Smith, George, E., ed. *The Cambridge Companion to Newton.* Cam-

bridge: Cambridge University Press 2002.

Colish, Marcia L. *Medieval Foundations of the Western Intellectual Tradition 400-1400.* New Haven: Yale University Press 1998.

Compayré, Gabriel. *Abelard and the Origin and Early History of Universities.* New York: AMS Press 1969 [1893].

Copenhaver, Brian P. and Schmitt, Charles B. *Renaissance Philosophy.* Oxford: Oxford University Press 1992.

Copleston, Frederick C. *A History of Medieval Philosophy.* New York: Harper & Row 1972.

Cowdrey, H. E. J. *Pope Gregory VII* 1073-1085. Oxford: Clarendon Press 1998.

Cornford, Francis M. *Plato's Cosmology: The Timaeus of Plato translated with a running commentary.* London: Routledge & Kegan Paul 1952.

Crombie, A. C. *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science* 1100-1700. Oxford: Oxford University Press 1953.

—— *Augustine to Galileo.* Vol 1: *Science in the Middle Ages, V-XIII Centuries.* Vol 2: *Science in the Late Middle Ages and Early Modern Times, XIII-XVII Centuries.* London: Heinemann 1961 [1952].

—— *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition: the history of argument and explanation especially in the mathematical and biomedical sciences and arts.* 3 vols. London: Duckworth 1994.

Crossley, John N. *The Emergence of Number.* Singapore: World Scientific 1987.

Crowther, J. G. *Founders of British Science.* London: The Crescent Press 1960.

Cullen, Christopher. *Astronomy and Mathematics in Ancient China: the Zhou bi suan jing.* New York: Cambridge University Press 1996.

Daly, Lowrie J. *The Medieval University* 1200-1400. New York: Sheed and Ward 1961.

Davidson, Herbert A. *Alfarabi, Avicenna, and Averroes, on Intellect.* New York: Oxford University Press 1992.

Dear, Peter. *Mersenne and the Learning of the Schools.* Ithaca: Cornell

University Press 1988.

Debus, Allen G. *Chemistry, Alchemy and the New Philosophy* 1550 – 1700. London: Variorum 1987.

—— ed. , *Alchemy and Early Modern Chemistry: Papers from Ambix.* The Society for the History of Alchemy and Chemistry 2004.

Dijksternhuis, E. J. *Archimedes.* Princeton: Princeton University Press 1987.

—— *The Mechanization of the World Picture: Pythagoras to Newton.* C. Dickshoorn, transl. Princeton: Princeton University Press 1986 [1959].

Dillon, John. *The Middle Platonists: A Study of Platonism* 80 *B. C. to A. D.* 220. London: Duckworth 1977.

—— *The Great Tradition: Further studies in the Development of Platonism and Early Christianity.* Aldershot, Hampshire: Ashgate 1997.

—— *The Heirs of Plato: a study of the Old Academy.* Oxford: Clarendon Press 2003.

Dobbs, Betty Jo Teeter. *The Foundations of Newtown' Alchemy or the Hunting of the Green Lion.* Cambridge University Press 1975.

—— *The Janus faces of genius. The role of alchemy in Newton's thought.* Cambridge: Cambridge University Press 1991.

—— and Jacob, Margaret C. *Newton and the Culture of Newtonianism.* Amherst, New York: Humanity Books 1995.

Dodds, E. R. *The Greeks and the Irrational.* Boston: Beacon Press 1957.

Dolnikowski, Edith Wilks. *Thomas Bradwardine: A View of Time and a Vision of Eternity in Fourteenth Century Thought.* Leiden: Brill 1995.

Douglas, David C. *The Norman Achievement* 1050 – 1100. London: Eyre & Spottiswoode 1969.

杜石然等编著:《中国科学技术史稿》, 上、下册, 北京科学出版社 1984。

Drake, Stillman. *Mechanics in Sixteenth Century Italy: Selections from Tartaglia, Benedetti, Guido UBaldo, & Galileo.* Stillman Drake and I. E. Drabkin, transl. Madison: University of Wisconsin Press 1969.

—— *Galileo at Work: His Scientific Biography.* Chicago: The University of Chicago Press 1978.

Dreyer, J. L. E. *A History of Astronomy from Thales to Kepler.* New York: Dover Publications 1953 [1905].

DSB (*Dictionary of Scientific Biography*). See Gilliespie 1970-1990.

Dueck, Daniela. *Strabo of Amasia: A Greek Man of Letters in Augustan Rome.* London: Routledge 2000.

Duhem, Pierre. *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds.* Roger Ariew, ed. & transl. Chicago: University of Chicago Press 1987.

—— *The Origins of Statics: The Sources of Physical Theory.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers 1991 [1905].

—— *Essays in the History and Philosophy of Science.* Roger Ariew and Peter Barker, transl. & ed. Indianapolis: Hackett Publishing 1996.

Eamon, William. *Science and the Secrets of Nature: Books of Secrets in Medieval and Early Modern Culture.* Princeton: Princeton University Press 1994.

Easton, Stewart C. *Roger Bacon and His Search for a Universal Science.* Oxford: Blackwell 1952.

Eisenstein, Elizabeth L. *The Printing Press as an Agent of Change.* 2 vol. Cambridge: Cambridge University Press 1979.

Elvin, Mark. *The Pattern of the Chinese Past.* London: Eyre Methuen 1973.

Encyclopedia of the History of Arabic Science. See Rashed 1996.

Engelfriet, Peter M. *Euclid in China: The Genesis of the First Chinese Translation of Euclid's Elements Books I-VI (Jihe yuanben; Beijing,* 1607) *and its Reception up to* 1723. Leiden: Brill 1998.

Evans, Joan. *Monastic Life at Cluny.* Archon Books 1968 [Oxford University Press 1931].

Farago, Claire, ed. *Leonardo's Writings and Theory of Art.* New York: Garland Publishing 1999.

Farrington, Benjamin. *Science and Politics in the Ancient World.* London: Allen & Unwin 1946 [1919].

—— *Greek Science: Its Meaning for Us.* 2 vols. Harmondsworth: Penguin 1949 [1944].

—— *Science in Antiquity.* London: Oxford University Press 1969 [1936].

Feingold, Mordechai. *The mathematicians' apprenticeship: science, universities and society in England, 1560 – 1640.* Cambridge: Cambridge University Press 1984.

—— *Before Newton: The Life and Times of Isaac Barrow.* Cambridge: Cambridge University Press 1990.

Ferguson, Everett. *Backgrounds of Early Christianity.* Grand Rapids, Michigan: Eerdmans 2003 [1987].

Field, J. V. and James, Frank A. J. L., ed. *Renaissance and Revolution: Humanities, Scholars, Craftsmen & Natural Philosophers in Early Modern Europe.* Cambridge: Cambridge University Press 1993.

Flegg, Graham, Cynthis Hay and Barbara Moss, ed. *Nicolas Chuquet: Renaissance Mathematician. A study with extensive translation of Chuquet's mathematical manuscript completed in* 1484. Boston: Reidel Publishing Company 1985.

Flint, Valerie I. J. *The Rise of Magic in Early Medieval Europe.* Princeton: Princeton University Press 1991.

Folkerts, Menso. *Essays on Early Medieval Mathematics: the Latin Tradition.* Ashgate: Variorum 2003.

—— *The Development of Mathematics in Medieval Europe: the Arabs, Euclid, Regiomontanus.* Ashgate: Variorum 2006.

Fowden, G. *The Egyptian Hermes.* Cambridge: Cambridge University Press 1986.

Fowler, David. *The Mathematics of Plato's Academy: A New Construction.* Oxford: Clarendon Press 1999.

Fraser, P. M. *Ptolemaic Alexandria*. 3vols. Oxford: Clarendon Press 2001 [1972].

Freedberg, David. *The Eye of the Lynx: Galileo, his friends and the beginnings of modern natural history*. Chicago: The University of Chicage Press 2002.

Freeman, Charles. *Egypt, Greece and Rome: Civilizations of the Ancient Mediterranean*. Oxford: Oxford University Press 1996.

Freeman, Kathleen. *The Pre-Socratic Philosophers, a Companion to Diels, Fragmente der Vorsokratiker*. Oxford: Basil Blackwell, 1959.

—— transl. *Ancilla to the Pre-Socratic Philosophers: a complete translation of the Fragments in Diels, Fragmente der Vorsokratiker*. Oxford: Basil Blackwell 1962.

Galpin, Francis W. *The Music of the Sumerians and Their Immediate Successors, the Babylonians & Assyrians*. New York: Da Capo Press 1970.

Gardiner, Alan. *Egypt of the Pharaohs*. Oxford: Oxford University Press 1966.

Gatti, Hilary. *Giordano Bruno and Renaissance Science*. Ithaca: Cornell University Press 1999.

George, A. R. *The Babylonian Gilgamesh epic: introduction, critical edition and cuneiform texts*. 2 vols. New York: Oxford University Press 2003.

Gersh, Stephen and Hoenen, Maarten J. F. M., ed. *The Platonic Tradition in the Middle Ages: A Doxographic Approach*. Berlin: Walter de Gruyter 2002.

Gibbon, Edward. *The Decline and Fall of the Roman Empire*. 3 vols. New York: Random House (Reprint of the 1932 2-vol edition).

Gilliespie, Charles Coulston, editor-in-chief. *Dictionary of Scientific Biography*, 19 Vols. New York: Scribner 1970-1990.

Gillings, Richard J. *Mathematics in the Time of the Pharaohs*. New York: Dover Publications 1982.

Gingerich, Owen, ed. *The Nature of Scientific Discovery: A Symposium Commemorating the 500th Anniversary of the Birth of Nicholaus Copernicus*. Washington D. C.: Smithsonian Institution Press 1975.

Glick, Thomas F. *Islamic and Christian Spain in the Early Middle Ages*. Princeton:

Princeton University Press 1979.

Glucker, John. *Antiochus and the Late Academy.* Gottingen: Vandenhoeck & Ruprecht 1978.

Goichon, A. M. *The Philosophy of Avicenna and Its Influence on Medieval Europe.* M. S. Khan, transl. Dehli: Motilal Banarsidass 1969.

Goldstein, B. R. *Theory and Observation in Ancient and Medieval Astronomy.* London: Variorum 1985.

Golino, Carlo L. *Galileo Reappraised.* Berkeley: University of California Press 1966.

Gordon, Cyrus H. *The Common Background of Greek and Hebrew Civilizations.* New York: Norton 1962.

Gorman, Peter. *Pythagoras, a Life.* London: Routledge & Kegan Paul 1979.

彼得·戈门著，石定乐译：《智慧之神：毕达哥拉斯传》，湖南人民出版社 1993。

Grafton, Anthony. *Cardano's Cosmos: The Worlds and Works of a Renaissance Astrologer.* Cambridge: Harvard University Press 1999.

Grant, Edward. *Physical Science in the Middle Ages.* Cambridge: Cambridge University Press 1977.

—— *Studies in Medieval Science and Natural Philosophy.* London: Variorum Reprints 1981.

—— and Murdoch, John E., ed. *Mathematics and its applications to science and natural philosophy in the Middle Ages.* Cambridge: Cambridge University Press 1987.

—— *The Foundations of Modern Science in the Middle Ages: Their Religious, Institutional and Intellectual Contexts.* Cambridge: Cambridge University Press 1996.

Greaves, Alan M. *Miletos, a History.* London: Routledge 2002.

Guicciardini, Niccolo. *Reading the* Principia: *the Debate on Newton's Mathematical Methods for Natural Philosophy from* 1687 *to* 1736. Cambridge: Cambridge University Press 1999.

Gutas, Dimitri. *Greek Thought, Arabic Culture: The Graeco-Arabic Translation Movement in Baghdad and Early Abassid Society*. London: Routledge 1998.

Guthrie, K. S. , compil. & transl. *The Pythagorean Sourcebook and Library*. Grand Rapids, Michigan: Phanes Press 1987.

Guthrie, W. K. C. *The Greeks and Their Gods*. London: Methuen & Co. 1950.

—— *The Earlier Presocratics and the Pythagoreans*. Cambridge: Cambridge University Press 1962.

—— *A History of Greek Philosophy*, 6 vols. Cambridge: Cambridge University Press 1962–1981.

—— *Orpheus and Greek Religion: a Study of the Orphic Movement*. Princeton: Princeton University Press 1993.

Habib, S. Irfan and Dhruv Raina. *Situating the History of Science: Dialogues with Josoph Needham*. Oxford: Oxford University Press 1999.

Hackett, Jeremiah, ed. *Roger Bacon and the Sciences: Commemorative Essays*. Leiden: Brill 1997.

Hall, A. Rupert, ed. *The Making of Modern Science*. Leicester University Press 1960.

Hall, A. Rupert. *From Galileo to Newton* 1630–1720. London: Collins 1963.

—— *The Revolution in Science* 1500–1750. London: Longman 1983.

—— *Henry More and the Scientific Revolution*. Cambridge: Cambridge University Press 1990.

—— *Isaac Newton: An Adventurer in Thought*. Cambridge: Cambridge University Press 1996.

Hammond, N. G. L. *A History of Greece to 322 B. C.* Oxford: Clarendon Press 1986.

Hankins, James, ed. *The Cambridge Companion to Renaissance Philosophy*. Cambridge: Cambridge University Press 2007.

Harkness, Deborah E. *The Jewel House: Elizabethan London and the Scientific Revolution*. New Haven: Yale University Press 2007.

Hashimoto Keizo, Catherine Jami & Lowell Skar, ed. *East Asian Science: Tra-*

dition and Beyond. Osaka: Kansai University Press 1995.

Haskins, C. H. *Studies in the History of Medieval Science.* Cambridge: Harvard University Press 1924.

—— *The Rise of Universities.* Ithaca: Cornell University Press 1957 [1923].

—— *Studies in Medieval Culture.* New York: Ungar 1965 [1929].

—— *The Normans in European History.* New York: Norton & Co. 1966 [1915].

—— *The Renaissance of the Twelve Century.* Cambridge: Harvard University Press 1993 [1927].

Heath, Thomas. *Greek Astronomy.* London: Dent & Sons 1932.

—— *Greek Mathematics*, 2 vols. Oxford: Clarendon Press 1965 [1921].

—— *Aristarchus of Samos: the Ancient Copernicus.* New York: Dover 1981 [1913].

—— *Mathematics in Aristotle.* Bristol: Thoemmes Press 1998 [1949].

Hesse, Mary B. *Forces and Fields: The concept of Action ɹt a Distance in the history of Physics.* London: Thomas Nelson & Sons 1961.

Hilbert, David. *The Foundations of Geometry.* E. J. Townsend, transl. Chicago: Open Court Publishing Company 1902.

Hodgson, Marshall G. S. *The Venture of Islam.* 3 vols. Chicago: The University of Chicago Press 1974.

Hogendijk, Jan P. & Sabra, Abdelhamid I., ed. *The Enterprise of Science in Islam: New Perspectives.* Cambridge: MIT Press 2003.

Hollister, C. Warren, ed. *The Twelfth-Century Renaissance.* New York: Wiley & Sons 1969.

Holmes, George. *Florence, Rome and the Origins of the Renaissance.* Oxford: Clarendon Press 1988.

Holmyard, E. J. *Alchemy.* Harmondsworth: Penguin Books 1968 [1957].

Hooykaas, Reijer. *Religion and the Rise of Modern Science.* Edinburgh: Scottish Academic Press 1972.

—— *Fact, Faith and Fiction in the Development of Science.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers 1999.

Hφyrup, Jens. *In Measure, Number, and Weight: Studies in Mathematics and Culture.* Albany: State University of New York Press 1994.

—— *Lengths, Widths, Surfaces: A Portrait of Old Babylonian Algebra and Its Kin.* New York: Springer-Verlag, 2002.

Huffman, Carl. A. *Philolaus of Croton: Pythagorean and Presocratic.* Cambridge: Cambridge University Press 1993.

Hunger, Hermann and Pingree, David. *Astral Sciences in Mesopotamia.* Leiden: Brill 1999.

Hunt, Noreen. *Cluny under Saint Hugh.* London: Edward Arnold Publishers 1967.

—— ed. *Cluniac Monasticism in the Central Middle Ages.* London: MacMillan 1971.

Hunter, Michael. *Robert Boyle* (1627 – 1691): *Scrupulosity and Science.* Woodbridge, Suffolk: Boydell Press 2000.

Ihsanoglu, Ekmeleddin. ed., *History of the Ottoman State, Society and Civilisation.* 2 vols. Istanbul: Research Center for Islamic History, Art and Culture (IRCICA) 2002.

—— *Science, Technology and Learning in the Ottoman Empire: Western Influence, Local Institutions, and the Transfer of Knowledge.* Aldershot, Hampshire: Ashgate Publishing 2004.

Israel, Jonathan I. *The Dutch Republic: Its Rise, Greatness and Fall* 1477 – 1806. Oxford: Clarendon Press 1995.

Jacob, James R. *The scientific Revolution: Aspirations and Achievements 1500 – 1700.* Atlantic Highlands, NJ: Humanities Press 1988.

Jacob, Margaret C. *The Newtonians and the English Revolution 1689 – 1720.* New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1990 [1976].

—— *The Radical Enlightenment: Pantheists, Freemasons and Republicans.* London: Allen & Unwin 1981.

Jamison, Evelyn. *Admiral Eugenius of Sicily, His Life and Work.* New York: Oxford University Press 1957.

Jaspers, Karl. *The Origin and Goal of History*. Michael Bullock, transl. New Haven: Yale University Press 1953.

Jonas, Hans. *The Gnostic Religion: the Message of the Alien God and the Beginnings of Christianity*. Boston: Beacon Press 1958.

汉斯·约纳斯著，张新樟译：《诺斯替宗教：异乡神的信息与基督教的开端》，上海三联书店 2006。

Jones, Richard Foster. *Ancients and Moderns: A Study of the Rrise of the Scientific Movement in Seventeenth-Century England*. New York: Dover Publications 1961.

Joseph, George Gheverghese. *The Crest of the Peacock: Non-European Roots of Mathematics*. London: Penguin 1990.

Kahn, Charles H. *Anaximander and the Origins of Greek Cosmology*. New York: Columbia University Press 1960.

—— *The Art and Thought of Heraclitus: an edition of the fragments with translation and commentary*. New York: Cambridge University Press 1979.

—— *Pythagoras and the Pythagoreans: A Brief History*. Indianapolis: Hackett 2001.

Kennedy, E. S. et al. *Studies in the Islamic Exact Sciences*. Beirut: American University of Beirut 1983.

Khan, M. A. Saleem. *Al-Biruni's Discovery of India: An Interpretive Study*. Denver: International Academic Publishers 2001.

King, David A. *Islamic Mathematical Astronomy*. Aldershot, Hampshire: Variorum 1993.

Kirk, G. S., Raven, J. E. & Schofield, M., *The Presocratic Philosophers*. Cambridge: Cambridge University Press 1983.

Klein, Jacob. *Greek Mathematical Thought and the Origin of Algebra*. Eva Brann, transl. Cambridge: The MIT Press 1968.

Knorr, Wilbur Richard. *The Evolution of the Euclidean Elements: A Study of the Theory of Incommensurable Magnitudes and Its Significance for Early Greek*

Geometry. London: Reidel Publishing 1975.

Koestler, Arthur. *The Watershed: a biography of Johannes Kepler*. London: Heinemann 1961.

Koyré, Alexandre. *The Astronomical Revolution: Copernicus-Kepler-Borelli*. R. E. W. Maddison, transl. Ithaca: Cornell University Press 1973.

—— *From the Closed World to the Infinite Universe*. New York: Harper & Row 1958.

—— *Galileo Studies*. John Mepham, transl. Sussex: Harvester Press 1978 [1939].

Kramer, Samuel N. *The Sumerians*. Chicago: The University of Chicago Press 1963.

Kraut, Richard, ed. *The Cambridge Companion to Plato*. Cambridge: Cambridge University Press 1992.

Kuhn, Thomas S. *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*. Cambridge: Harvard University Press 1966.

—— *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press 1970 [1962].

Kuhrt, Amelie. *The Ancient Near East, c. 3000–330 BC*. 2 vols. London: Routledge, 1995.

Landes, David S. *Revolution in Time: Clocks and the Making of the Modern World*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press 1983.

Lapidus, Ira M. *A History of Islamic Societies*. Cambridge: Cambridge University Press 2002.

Lear, John. *Kepler's Dream, with the full text and notes of Somnium, translated by Patricia Frueh Kirkwood*. Berkeley: University of California Press 1965.

李国豪、张孟闻、曹天钦主编:《中国科技史探索》。香港:中华书局香港分局 1986。

李俨:《中国算学史》。上海:商务印书馆 1955 [1937]。

Lilla, Salvatore R. C. *Clement of Alexandria: a Study in Christian Platonism*

and Gnosticism. Oxford: Oxford University Press 1971.

Lindberg, David C., ed. *Science in Middle Ages*. Chicago: The University of Chicago Press 1978.

—— *Roger Bacon's Philosophy of Nature: A Critical Edition, with English Translation, Introduction, and Notes, of* De multiplicatione specierum *and* De speculis comburentibus. Oxford: Clarendon Press 1983.

—— and Westman, Robert S., ed. *Reappraisals of the Scientific Revolution*. Cambridge: Cambridge University press 1990.

—— *The Beginnings of Western Science*. Chicago: The University of Chicago Press 1992.

—— *Roger Bacon and the Origins of Perspectiva in the Middle Ages: A Critical Edition and English Translation of Bacon's Perspectiva with Introduction and Notes*. Oxford: Clarendon Press 1996.

Linden, Stanton J., ed. *The Alchemy Reader from Hermes Trismegistus to Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press 2003.

Lindsay, Jack. *The Origins of Alchemy in Graeco-Roman Egypt*. London: F. Muller 1970.

刘钝、王扬宗编:《中国科学与科学革命:李约瑟难题及其相关问题研究论著选》,辽宁教育出版社2002。

Lloyd, G. E. R. *Aristotle: the Growth and Structure of His Thought*. Cambridge: Cambridge University Press 1968.

—— *Early Greek Science: Thales to Aristotle*. New York: Norton 1970.

—— *Greek Science After Aristotle*. New York: Norton 1973.

—— *Magic, Reason and Experience: Studies in the Origins and Development of Greek Science*. Cambridge: Cambridge University Press 1979.

—— *Adversaries and Authorities: Investigations into Ancient Greek and Chinese Science*. Cambridge: Cambridge University Press 1996.

—— *The Ambitions of Curiosity: Understanding the World in Ancient Greece and China*. Cambridge: Cambridge University Press 2002.

—— and Nathan Sivin. *The Way and the Word: Science and Medicine in Early China and Greece*. New Haven: Yale University Press 2002.

—— *Ancient Worlds, Modern Reflections: Philosophical Perspectives on Greek and Chinese Science and Culture*. Oxford: Clarendon Press 2004.

—— *Principles and Practices in Ancient Greek and Chinese Science*. Aldershot: Variorum Reprints 2006.

Lynch, John. *Spain under the Habsburgs*. 2 vols. New York: New York University Press 1984.

Mach, Ernst. *The Science of Mechanics*. Thomas J. McCormack, transl. LaSalle, Ill: The Open Court Publishing 1960 [1893].

Majercik 1989, see *Chaldean Oracles*.

Makdisi, George. *The Rise of the Colleges. Institutions of Learning in Islam and the West*. Edinburgh: Edinburgh University Press 1981.

—— *The Rise of Humanism in Classical Islam and the Christian West*. Edinburgh: Edinburgh University Press 1990.

Martzloff, Jean-Claude. *A History of Chinese Mathematics*. Stephen S. Wilson, transl. Berlin: Springer-Verlag 1997.

Matthew, Donald. *The Norman Kingdom of Sicily*. Cambridge: Cambridge University Press 1992.

Mayhall, C. W. *On Plotinus*. Belmont, CA: Wadsworth 2004.

McEvoy, James. *The Philosophy of Robert Gresseteste*. Oxford: Clarendon Press 1986.

McKie, D. *Antoine Lavoisier*. New York: Plenum 1990 [1952].

McMullin, Ernan, ed. *Galileo, Man of Science*. Princeton Junction: The Scholar's Bookshelf 1967.

McNeill, William H. *Plagues and Peoples*. New York: Doubleday 1976.

—— *The Pursuit of Power: Technology, Armed Forces and Society since A. D.* 1000. Chicago: The University of Chicago Press 1984.

Meli, Domenico Bertoloni. *Equivalence and Prirotiy: Newton versus Leibniz*. Ox-

ford: Clarendon Press 1996.

Methuen, Charlotte. *Kepler's Tübingen: Stimulus to a Theological Mathematics.* Aldershot: Ashgate 1998.

Miller, Arthur I. *Einstein, Picasso: Space, Time and the Beauty That Causes Havoc.* New York: Perseus Books 2001.

Mueller, Ian. *Philosophy of Mathematics and Deductive Structure in Euclid's Elements.* Cambridge: The MIT Press 1981.

Nakayama, Shigeru and Nathan Sivin, ed. *Chinese Science: Explorations of an Ancient Tradition.* Cambridge: MIT Press 1973.

Nasr, Seyyed Hossein. *Science and Civilization in Islam.* Cambridge: Harvard University Press 1968.

Needham, Joseph. *Science and Civilisation in China.* 7 vols each in several pts. Cambridge: Cambridge University Press 1954–2004 (publication still in progress).

—— *The Grand Titration: Science and Society in East and West.* London: Allen & Unwin 1969.

—— *Clerks and Craftsmen in China and the West: Lectures and Addresses on the History of Science and Technology.* Cambridge: Cambridge University Press 1970.

—— *Science in Traditional China: a Comparative Perspective.* Hong Kong: The Chinese University Press 1981.

Needham, Joseph, Wang Ling and Derek J. de Solla Price. *Heavenly Clockwork: The Great Astronomical Clocks of Medieval China.* Cambridge: Cambridge University Press 1986 [1960].

Neugebauer, Otto. *The Exact Sciences in Antiquity.* New York: Dover Publications 1969.

—— *A History of Ancient Mathematical Astronomy.* Pt. I – III. Berlin: Springer-Verlag 1975.

—— ed. *Astronomical Cuneiform Texts.* 3 vols. New York: Springer-Verlag 1983.

Neugebauer, Otto & Sachs, A., ed. *Mathematical Cuneiform Texts.* New Haven: American Oriental Soceity 1986.

Newman, William R., ed. & transl. with study. *The* Summa Perfectionis *of Pseudo-Geber.* Leiden: Brill 1991.

Newton, Robert R. *The Crime of Claudius Ptolemy.* Baltimore: Johns Hopkins University Press 1977.

O'Callaghan, Joseph F. *A History of Medieval Spain.* Ithaca: Cornell University Press 1975.

O'Grady, Patricia F. *Thales of Miletus: the Beginnings of Western Science and Philosophy.* Hants: Ashgate 2002.

O'Leary, de Lacy. *How Greek Science Passed to the Arabs.* New Dehli: Goodword Books 2001 [1949].

O'Meara, Dominic J. *Pythagoras Revived: Mathematics and Philosophy in Late Antiquity.* Oxford: Clarendon Press 1989.

Osler, Margaret, ed. *Rethinking the Scientific Revolution.* Cambridge: Cambridge University Press 2000.

Ostrogorsky, George. *History of the Byzantine State.* Joan Hussey, transl. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press 1969.

Panofsky, E. *Renaissance and Renaissances in Western Art.* New York: Harper and Row 1972.

Pedersen, Olaf. *A Survey of the Almagest.* Odense University Press 1974.

Peters, F. E. *Aristotle and the Arabs: the Aristotelian Tradition in Islam.* New York: New York University Press 1968.

—— *The Harvest of Hellenism: a History of the Near East from Alexander the Great to the Triumph of Christianity.* London: Allen & Unwin 1972.

—— *Allah's Commonwealth: a History of Islam in the Near East,* 600 – 1100 *A. D.* New York: Simon and Schuster 1973.

Powell, J. G. F., ed. *Cicero the Philosopher.* Oxford: Clarendon Press 1995.

Price, Derek J. de Solla. *Science Since Babylon.* New Haven: Yale University

Press 1961.

Principe, Lawrence M. *The Aspiring Adept: Robert Boyle and his Alchemical Quest*. Princeton: Princeton University Press 1998.

Qian Wen-yuan. *The Great Inertia: Scientific Stagnation in Traditional China*. London: Croom Helm 1985.

曲安京:《〈周髀算经〉新议》,陕西人民出版社2002。

——《中国历法与数学》,科学出版社2005。

——《中国数理天文学》,北京科学出版社2008。

Ragep, F. J. see al-Tusi 1993.

Rashdall, Hastings. *The Universities of Europe in the Middle Ages*. 3 vols. F. M. Powicke and A. B. Emden, ed. London: Oxford University Press 1958 [1936].

Randall Jr., John Herman, *The School of Padua and the Emergence of Modern Science*. Padua: Editrice Antenore 1961.

Rashed, Roshdi. *The Development of Arabic Mathematics: between Arithmetic and Algebra*. A. F. W. Armstrong, transl. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer 1994.

—— ed. *Encyclopedia of the History of Arabic Science*. 3 vols. London: Routledge 1996.

Rawson, Elizabeth. *Intellectual Life in the late Roman Republic*. Baltimore: Johns Hopkins Unversity Press c. 1985.

Read, John. *Prelude to Chemistry. An Outline of Alchemy: Its Literature and Relationships*. London: G. Bell & Sons 1936.

Reilly, Bernard F. *The Contest of Christian and Muslim Spain* 1031-1157. Oxford: Blackwell 1995.

Rice, Jr., Eugene F. *The Foundations of Early Modern Europe*, 1460-1559. New York: Norton & Company 1970.

Richter, Jean Paul, ed. *The Literary Works of Leonardo Da Vinci*, 2 vols. New York: Phaidon 1970.

Ridder-Symoens, Hilde de., ed. *Universities in the Middle Ages.* Cambridge: Cambridge University Press 1992.

—— *Universities in Early Modern Europe.* Cambridge: Cambridge University Press 1996.

Robin, Leon. *Greek thought and the Origin of Scietific Spirit.* London: Routledge 1996 [1928].

莱昂·罗斑著，陈修斋译：《希腊思想与科学精神的起源》，广西师范大学出版社 2003。

Robins, Gay & Shute, Charles. *The Rhind Mathematical Papyrus: an ancient Egyptian text.* New York: Dover Publications, 1990.

Rose, Paul Lawrence. *The Italian Renaissance of Mathematics: Studies on Humanists and Mathematicians from Petrarch to Galileo.* Geneve: Librairie Droz 1975.

Rosen Edward. *Copernicus and the Scientific Revolution.* Malabar, Fl: krieger 1984.

Runciman, Steven. *The Sicilian Vespers: A History of the Mediterranean World in the Later Thirteenth Century.* Cambridge: Cambridge University Press 1992.

Runia, D. T. *Philo in Early Christian Literature: A Survey.* The Netherlands: Van Gorcum 1993.

Russo, Lucio. *The Forgotten Revolution: How Science Was Born in* 300 *BC and Why It Had to Be Reborn.* Silvio Levy, transl. & collaborator. Berlin: Springer-Verlag 2004.

Sabra, A. I. *Optics, Astronomy and Logic: Studies in Arabic Science and Philosophy.* London: Ashgate 1994.

Said, Hakim Mohammed, ed. *Ibn al-Haitham: Proceedings of the Celebrations of* 1000*th Anniversary.* Karachi: Hamdard Academy 1970.

Saleem Khan, M. A. *Al-Biruni's Discovery of India: an Interpretive Study.* Denver: Academic Books 2001.

Saliba, George. *A History of Arabic Astronomy: Planetary Theory during the*

Golden Age of Islam. New York: New York University Press 1994.

—— *Islamic Science and the making of the European Renaissance*. Cambridge: MIT Press 2007.

Sambursky, S. *The Physical World of the Greeks*. Merton Dagut, transl. London: Routledge & Kegan Paul 1987 [1956].

Sams6, Julio. *Islamic Astronomy and Medieval Spain*. London: Ashgate Publishing Company 1994.

Sarton, George. *Introduction to the History of Science*. 3 vols. Baltimore: Carnegie Institution of Washington 1962 [1927].

—— *A History of Science*. 2 vols. Cambridge: Harvard University Press 1959.

Sayili, Aydin. *The Observatory in Islam*. Ankara: Turkish Historical Society 1960. Arno Press Reprint 1981.

SCC. See Needham 1954–2004.

Schmitt, Charles B. *Gianfrancesco Pico della Mirandola and his Critique of Aristotle*. The Hague: Martinus Nijhoff 1967.

—— *Studies in Renaissance Philosophy and Science*. London: Variorum Reprints 1981.

—— *The Aristotelian Tradition and Renaissance Universities*. London: Variorum Reprints 1984.

—— *Reappraisals in Renaissance Thought*. London: Variorum Reprints 1989.

Semaan, Khalil I., ed. *Islam and the Medieval West: Aspects of Intercultural Relations*. Albany: State University of New York Press 1980.

Shapin, Steven and Schaffer, Simon. *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, boyle, and the Experimental Life*. Princeton: Princeton University Press 1985.

Shaw, Stanford J. & Shaw, Ezel Kural. *History of the Ottoman Empire and Modern Turkey*. 2 vols. Cambridge: Cambridge University Press 1976–1977.

Shea, William R. *Galileo's Intellectual Revolution: Middle Period*, 1610–1632. New York: Science History Publications 1972.

Shorey, Paul. *Platonism Ancient and Modern.* Berkeley: University of California Press 1938.

Sivin, Nathan, ed. *Science and Technology in East Asia.* New York: Science History Publications 1977.

Smith, A. M. *Ptolemy's theory of visual perception*, *Transactions of the American Philosophical Society* vol. 86 Pt. 2. Philadelphia 1996.

Smith, Andrew. *Philosophy in Late Antiquity.* London: Routledge 2004.

Southern, R. W. *The Making of the Middle Ages.* London: Hutchinson 1959 [1953].

—— *Robert Grosseteste: the Growth of an English Mind in Medieval Europe.* New York: Oxford University Press 1992.

—— *Scholastic Humanism and the Unification of Europe.* 2 vols. Oxford: Blackwell 1995-2001.

Stahl, William H. *Roman Science: Origins, Development, and Influence to the Later Middle Ages.* Madison: University of Wisconsin Press 1962. Greenwood Press reprint 1978.

Steadman, Philip. *Vermeer's Camera, Uncovering the Truth Behind the Masterpieces.* Oxford: Oxford University Press 2001.

Swerdlow, N. M. *The Bablyonian Theory of the Planets.* Princeton: Princeton University Press 1998.

—— ed. *Ancient Astronomy and Celestial Divination.* Cambridge: The MIT Press 1999.

Swerdlow, N. M. and Neugebauer, Otto. *Mathematical Astronomy in Copernicus's De revolutionibus.* 2 vols. New York: Springer-Verlag c. 1984.

Taylor, A. E. *Plato, the Man and His Work.* New York: Meridian 1958.

Taylor, E. G. R. *The mathematical practitioners of Tudor & Stuart England.* Cambridge: Cambridge University Press 1968.

Thomas, Keith. *Religion and the Decline of Magic: Studies in popular beliefs in sixteenth and seventeenth century England.* London: Weidenfeld and Nicol-

son 1971.

Thompson, J. M. *Lectures on Foreign History* 1494 – 1789. Oxford: Blackwell 1965.

Thomson, J. Oliver. *History of Ancient Geography.* New York: Biblo and Tannen 1965.

Thoren, Victor E. *The Lord of Uraniborg: A Biography of Tycho Brahe.* Cambridge: Cambridge University Press 1990.

Thorndike, Lynn. *A History of Magic and Experimental Science during the first thirteen centuries of our era.* 8 vols. New York: Columbia University Press 1923–1958.

Thurston, Hugh. *Early Astronomy.* New York: Springer-Verlag 1994.

Trevelyan, G. M. *A Shortened History of England.* New York: Penguin 1986.

Van de Mieroop, Marc. *A History of the Ancient Near East ca. 3000–323 BC.* Oxford: Blackwell Publishing 2004.

van den Broek, Roelof. *Studies in Gnosticism and Alexandrian Christianity.* Leiden: Brill 1996.

—— and Hanegraaff, Wouter J., ed., *Gnosis and Hermeticism: from Antiquity to Modern Times.* Albany, New York: State University of New York Press 1998.

van der Waerden, B. L. *Geometry and Algebra in Ancient Civilizations.* Berlin: Springer-Verlag 1983.

Van Engen, John, ed. *Learning Institutionalized: Teaching in the Medieval University.* Notre Dame: University of Notre Dame Press 2000.

Veltman, Kim. *Linear Perspective and the Visual Dimensions of Science and Art.* Munchen: Deutscher Kunstverlag 1986.

Voelkel, James R. *Johannes Kepler and the New Astronomy.* New York: Oxford University Press 1999.

—— *The Composition of Kepler's* Astronomia Nova. Princeton: Princeton University Press 2001.

Waite, Arthur Edward, Lewis Spence and W. P. Swainson. *Three Famous Alchemists: Raymund Lully, Cornelius Agrippa and Theophrastus Paracelsus*. London: Rider & Co. c. 1939.

Walker, D. P. *Spiritual and Demonic Magic: From Ficino to Campanella*. Notre Dame: University of Notre Dame Press 1975.

Walker, Williston. *A History of the Christian Church*. New York: Scribner 1959 [1918].

Wallis, R. T. *Neo-Platonism*. London: Duckworth 1972.

王钱国忠编:《李约瑟文献五十年(1942—1992)》,上、下册,贵州人民出版社 1999。

汪子嵩、范明生、陈村富、姚介厚:《希腊哲学史》,3 卷,人民出版社 1997—2003。

Webster, Charles. *From Paracelsus to Newton: Magic and the Making of Modern Science*. Cambridge: Cambridge University Press 1984.

Weisheipl, James A. *The Development of Physical Theory in the Middle Ages*. London: Sheed and Ward 1959.

Wells, Collin. *The Roman Empire*. Cambridge: Harvard University Press 1992.

West, Martin L. *Early Greek Philosophy and the Orient*. Oxford: Clarendon Press 1971.

—— *Ancient Greek Music*. Oxford: Clarendon Press 1992.

—— *The East Face of Helicon: West Asiatic Elements in Greek Poetry and Myth*. Oxford: Clarendon Press 1997.

Westfall, Richard S. *Forces in Newton's Physics: The Science of Dynamics in the Seventeenth Century*. London: MacDonald 1971.

—— *The Life of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press 1993.

Westman, Robert S., ed. *The Copernican Achievement*. Berkeley: University of California Press 1975.

Whewell, William. *History of the Inductive Sciences*. 3 Parts. London: Frank Cass & Co. 1967 [Fascimile of the Third Edition of 1857].

White, Lynn, jr. *Medieval Technology and Social Change*. London: Oxford University Press 1964.

—— *Medieval Religion and Technology*. Berkeley: University of California Press 1978.

Wickens, G. M., ed. *Avicenna: Scientist & Philosopher: a Millenary Symposium*. London: Luzac 1952.

Winchester, Simon. *The Man Who Loved China*. New York: Harper 2008.

Wood, J. M., ed. *The Cambridge Companion to Piero della Francesca*. Cambridge: Cambridge University Press 2002.

Woodhouse, C. M. *George Gemistos Plethon: the Last of the Hellenes*. Oxford: Clarendon Press 1986.

Woolley, C. Leonard. *The Sumerians*. New York: Norton 1965.

席泽宗、吴德铎主编:《徐光启研究论文集》,上海学林出版社 1986。

Yates, Frances A. *Giordano Bruno and the Hermetic Tradition*. London: Routledge & Kegan Paul 1964.

—— *The Rosicrucian Enlightenment*. London: Routledge & Kegan Paul 1972.

Yoder, Joella G. *Unrolling Time: Chritiaan Huygens and the Mathematization of Nature*. Cambridge: Cambridge University Press 1988.

Zeller, Eduard. *Outlines of the History of Greek Philosophy*. Palmer, L. R., transl. London: Routledge & Kegan Paul 1963 [1883].

张东荪著,张耀南编:《知识与文化:张东荪文化论著辑要》,中国广播电视出版社 1995。

中国科学院《自然辩证法通讯》杂志社编:《科学传统与文化——中国近代科学落后的原因》,陕西科学技术出版社 1983。

竺可桢:《竺可桢日记》,5 册,人民出版社 1984—1990,科学出版社出版。

Zinner, Ernst. *Regiomontanus: His Life and Work*. Ezra Brown, transl. Amsterdam: North-Holland 1990.

译名对照表

A

Abbas, Abu l- 阿拔斯（哈里发）

Abbasid Caliphate 阿拔斯皇朝

Abd al-Rahman III 阿都拉曼三世（哈里发）

abd-al Hamid ibn-Turk 见 Turk

Abdera 阿布德拉

Abelard, Peter 阿伯拉

Abu Kamil 见 Kamil

Abu Nasr Mansur 见 Mansur

Abu'l Kasim al-Iraqi 阿布卡西姆

Abu'l-Wafa 阿布瓦法

Abumasar 阿布马沙

Academia dei Lincei 科学协进会（意大利）

Academie des Sciences 皇家科学院（法国）

Academy 学园

Achaemenid Empire 古波斯帝国

Achaeans 亚该亚族

Achilles 阿喀琉斯

Adeimantus 阿德曼图斯

Adelard of Bath 阿德拉

Adud Ad-Dulah 阿德阿都拉

Aeschylus 埃斯库罗斯

aether (ether) 以太

Aflah, Jabir ibn 阿法拉

Afnan, S. M. 阿夫南

Agammemnon 阿伽门农

Agrigentum 阿格里城

Agrippa, Henry Cornelius 阿格里帕

Ahmad ibn Musa 艾哈迈德

Ahmose II 阿莫斯二世（法老）

Ahya ibn Barmak 阿希亚

Aidamur al-Jildaki 爱达米尔

Aion 光阴

aither 清气

Akkadian 阿卡德语

akousmatikoi 聆听众

Alamut 阿拉穆

Albategnius 见 Battani, Al-

Albert of Saxony （萨克森的）阿尔伯特

Alberti, Leone Battista 阿尔贝提

Albertus Magnus 大阿尔伯图

Albigensians 阿尔比教派

alchemy 炼金术/冶炼术

Alcuin 阿尔昆

Alexander IV 亚历山大四世(教宗)
Alexander, the Great 亚历山大大帝
Alexandria 亚历山大城
Alfonsi, Petrus 彼得阿方斯
Alfonso VI 阿方索六世（西班牙）
Alfonso VII 阿方索七世（西班牙）
Alfonso X 阿方索十世（西班牙）
Alhazen 海桑
Ali Buya 阿里布亚
Ali-ben-Abbas 阿巴斯阿里
Almagest 《大汇编》
Almohads 阿摩哈德人
Amasis 阿美西斯（法老）
Amasya 阿马西亚
Ammenemes III 阿门尼米斯三世（法老）
Ammonias Hermias 阿孟尼亚斯
Amorite 亚摩利人
Amyclas of Heraclea 阿米克拉
Amyntas 阿敏塔斯（国王）
Anagoge 霄升
anamnesis 追忆前生
Anaxagoras 阿那克萨戈拉
Anaximander 阿那克西曼德
Anaximenes 阿那克西米尼
Andalus, Al- 安达鲁斯
Andrea da Firenze 安德烈
Angelo, Jacopo de 安哲罗
Anjou, Duke of 安茹公爵
Anselm of Laon 安瑟姆
Anselm of Canterbury, St. 圣安瑟姆
Antigonid 安提柯
Antioch 安提俄
Antiochus III 安条克三世（塞琉西）
Antiochus of Ascalon 安条克
Antipater 安提伯特
Antiphon 安提芳
Antwerp 安特卫普
Apameia 阿帕米亚
apeiron 无限
Apollo 阿波罗
Apophis 阿波菲斯（法老）
Appolonius of Perga 阿波隆尼亚斯
Appolonius of Tyana 阿波隆尼亚斯
Apsu 甘水
Aquinas, Thomas 阿奎那
Ar Raqqah 拉卡
Aragon 阿拉贡
Aratta 阿拉塔
Aratus of Soli 阿拉图
arcana 奥秘
Arcesilaus 阿卡西劳斯
archdeacon 主助祭
arche 原质
Archelaus 阿基劳斯
Archimedes 阿基米德
Archippus 阿基柏斯
Archytas 阿基塔斯
Aristaeus 阿里斯提乌
Aristallus 阿里斯塔罗
Aristarchus of Samos 阿里斯它喀斯
Aristarchus of Samothrace 阿里斯它喀斯
Aristippus, Henricus 阿里斯提柏斯
Ariston of Chios 阿里斯顿
Aristophanes of Byzantion 阿里斯托芬
Aristotle 亚里士多德
Aristoxenus 亚里士多塞诺斯

Arius 阿里乌
armillary sphere 浑天仪
Ars Magna 《大法》
Asclepius 阿斯克勒庇俄斯
Ashur（Assur） 亚述
astrolabe 星盘
Athanasius 亚大纳西
Athenaeus of Cyzicus 阿忒纳奥斯
Athens 雅典
Attalus 阿它鲁
Attica 阿提卡
Augustine, St. 圣奥古斯丁
Aurelius, Marcus 见 Marcus Aurelius
Autolycus 奥托吕科斯
Averroës 阿威罗伊
Avesta 《阿维斯陀经》
Avicenna 阿维森纳
Avignon 亚维尼翁
Azhar Mosque 阿兹哈尔清真寺

B

Babylon 巴比伦
Bacchant 巴克斯门徒
Bacchus 巴克斯
Bacon, Francis 培根
Bacon, Roger 罗杰培根
Baghdad 巴格达
Bakr, Abu 巴克尔
Balkh 巴尔克
Balliol College 贝里奥学院
ballistics 弹道学
Barberini 巴尔贝里尼
Barmaks 巴麦克家族
Barrow, Isaac 巴罗
Basil, the Great 巴西勒
Basra 巴士拉
Battani, Al- 巴坦尼
Bayt al-Hikma 智慧宫
Beauvais, Vincent of 博韦的文森特
Bec 贝克
Becket, Thomas 贝克特
Bede 拜德
Beeckman, Isaac 贝克曼
Bellarmine, Robert 贝拉敏
Ben-David, Joseph 本大卫
Benedict of Nursia 本笃
Berengar of Tours 贝伦加尔
Berman, Harold 伯尔曼
Bernard 巴纳德
Bernoulli, Daniel 伯努利
Berossos 贝罗索斯
Bessarion 贝沙理安
Bianchini, Giovanni 比安奇尼
Billingsley, Henry 比灵斯莱
binding 附体
Biruni, Al- 比伦尼
Bitrogi, Al- 见 Bitruji, Al-
Bitruji, Al- 比特鲁吉
Black, Joseph 布莱克
Boccacio 薄迦丘
Boethius 波伊提乌
Bologna 博洛尼亚
Bolos, Democritus 波鲁斯
Bombelli, Rafael 邦贝利
Bonaventura 博纳文图拉
Boniface VIII 卜尼法斯八世（教宗）
Bonus, Petrus 博努斯

Boyer, Care 波耶
Boyle, Robert 玻义耳
Bradwardine, Thomas 布拉沃丁
Brahe 见 Tycho Brahe
Brescia 布雷西亚
Briggs, Henry 布里格斯
Brittany 布列塔尼
Brudzewo, Albert Blar of 布鲁丘乌
Bruges 布鲁日
Brunelleschi 布鲁内莱斯基
Bruno, Giordano 布鲁诺
Brussels 布鲁塞尔
Buda 布达
Bukhara 布哈拉
Bukhtyishu, Jiris ibn 布泰伊苏
Buonamici, Francesca 博纳米奇
Bürgi, Joost 比尔吉
Burgundio of Pisa 勃艮第奥
Burgundy 勃艮第
Buridan, Jean 布里丹
Burkert, Walter 布尔克特
Burley, Walter 布尔立
Bury, John B. 布理
Buyids 布伊德人
Bylica of Olkusz, Martin 贝利卡
Byzantium 拜占庭

C

cabala 见 *kabbala*
Caesar, Julius 恺撒大帝
Caesar Octavius 屋大维
caliph 哈里发
Callimachus of Cyrene 卡利马克
Callipus of Cyzicus 卡里普斯
Callisthenes of Polynthus 卡利撒尼斯
Campanus of Novara 康帕纳斯
Canon Law 教会法
Canopus 老人星
Capella, Martianus 卡佩拉
Capetian Dynasty 卡佩王朝
Cardano, Girolamo 卡尔丹诺
Carneades 卡尼底斯
Carolingian Empire 卡洛林帝国
Carthage 迦太基
Casaubon, Isaac 卡索邦
Cassiodorus 卡西奥多鲁
Castelli, Benedetto 卡斯泰利
Castile 卡斯蒂利
Castor, Antonius 卡斯托
catapult 发石机
cathedral school 座堂学校
catoptrics 反射光学
Cauchy, Augustin-Louis 柯西
Cavalieri, Bonaventura 卡瓦列里
Cavendish, Henry 卡文迪什
Cebes 克贝斯
Celicia 西利西亚
Centiloquium 《百言书》
Chaldean Babylon 迦勒底巴比伦
Chaldean Oracles 《迦勒底神谕》
chancellor 监督
Chandrasekhar, S. 钱德拉塞卡
Chaos 混沌
Charles I 查理一世（英王）
Charles IV 查理四世（皇帝）
Charles V 查理五世（皇帝）
Charlemagne 查理大帝

Charmides 《卡米德篇》
Chartres 夏特尔
Chios 希俄斯岛
Chosroes I 古斯鲁一世
Christian IV 克里斯蒂安四世
Chrysoloras, Manuel 克拉苏罗拉斯
Chuquet, Nicolas of 舒克特
Cicero 西塞罗
Cigoli, Lodovico 奇戈利
Cimabue, Giovanni 契马布埃
cissoid 蔓叶线
Cistercian Monastery 西多修道院
Clagett, Marshall 克拉格特
Clarendon, Constitution of 克伦顿宪章
Clazomenae 克拉佐门尼
Clement 克里门
Cleomedes 克里奥美迪
clepsydra 滴漏
clootcrans 缀球环链
Cluny Monastery 克吕尼修院
Cnidus 尼多斯
Codrus 科德鲁斯
Cnossus 见 Knossos
Cohen, Benard 柯亨
Cohen, Floris 柯亨
Collins, John 柯林斯
Collinwood, R. G. 柯林武德
Cologne 科隆
Cologne Mani-Codex 《科隆摩尼经卷》
Colophon 科洛丰
Commandino, Frederico 可曼迪诺
Commentariolus 《简论》
Commodus 康茂德
conchoid 蚌线
conjunction 通灵；合（天文）
conjuration 召唤
Connectors 联系者
Conradin 康拉丁
Constance, Council of 康斯坦斯宗教大会
Constantine, the Great 君士坦丁大帝
Constantinople 君士坦丁堡
Constantinus Africanus 非洲人康斯坦丁
Convention Parliament 制宪大会
Copernicus, Nicholas 哥白尼
Coptic Gnostic Codices 《科普特文灵智经卷》
Cordoba 科尔多瓦
Cordova 见 Cordoba
Corinth 科林多
Corpus Hermeticum 《赫墨斯经典》
Corpus Juris Civilis 《民事法典》
Cos 科斯岛
Cosimo d'Medici 科西莫
Cracow 克拉科夫
Crecy 克雷西
Crete 克里特岛
Critias 《克里底亚篇》
Croesus 克鲁伊斯
Crombie, A. C. 克伦比
Croton 克罗顿
Ctesibius 特西比乌
Cullen, Christopher 古克礼
Cusa, Nicholas 库萨
Cyclades 基克拉迪群岛
cycloid 旋轮线
Cylon 塞隆
Cyprus 塞浦路斯

Cyrene 昔兰尼
Cyril, St. 圣西里尔
Cyrus 居鲁士
Cyzicus 塞齐库斯

D

Da Vinci, Leonardo 达芬奇
Damascius 达马修斯
Damascus 大马士革
Daniel of Morley 丹尼尔
Dante Alighieri 但丁
Dardarnelles 达达尼尔
Darius 大流士
Dastin, John 达斯廷
De Revolutionibus Orbium Coelestium 《天体运行论》
decan 旬期
Dedekind, Julius 狄德金
Dee, John 狄约翰
Defensor Pacis 《和平保卫者》
deferent 主轮，均轮
deism 自然神学
Del Monte, Guidobaldo Marchese 满蒂子爵
Delphic Sanctuary 特尔斐神庙
Demeter 地母
Demetrius of Phaleron 德米特里
Democritus 德谟克利特
Descartes, René 笛卡儿
Dialogues 《对话录》
Dicaearchus 狄克阿科斯
Diels, Hermann 迪尔斯
Digest, *The* 《学说汇编》
Dijksternhuis, E. J. 底泽斯特海斯
Dillon, John 迪伦
Dinostratus 狄诺斯特拉图斯
Diocletian 戴克里先
Diogenes Laertius 第欧根尼
Dion 狄翁
Dionysius 狄奥尼西
Dionysus 狄奥尼索斯
Diophantus of Alexandria 丢番图
dissolution （大学）自我解散
Dobbs, Betty Jo Tetter 多布斯
Dodds, E. R. 道斯
Dominicans 多米尼加修士
Dominicus Hispanus 多米尼加
Dominis, Marc Antonio de 多米尼斯
Domitian 董密善
Dorians 多利安人
Duhem, Pierre 迪昂
Dumbleton, John of 邓布顿
Duns Scotus, John 邓斯司各脱
Dürer, Abrecht 丢勒

E

Ecphantus 厄番图
Edessa 艾德萨
Elamites 埃兰人
Elea 爱利亚
Elements 《几何原本》
Eleusis 埃洛西斯
Elissaeus 伊利莎
elixir 灵丹
Elizabeth I 伊丽莎白一世（英王）
Elvin, Mark 伊懋可
Elysium 埃洛西乐土
emanation 流溢，发射
Emerald Tablet 《绿玉版》

Empedocles 恩培多克勒
Enneads 《九章书》
Epagomenal Day （埃及历法）节日
Ephesus 以弗所
Epicurus 伊壁鸠鲁
epicycle 本轮
equatorium 赤道仪
Erasistratus of Chios 伊拉希斯特拉斯
Erasmus 伊拉斯谟
Eratosthenes of Cyrene 艾拉托色尼
Erebus 埃里伯斯
Erfurt 爱尔福特
Eros 爱神，厄洛斯
Euclid 欧几里德
Eudemus of Rhodes 尤德姆斯
Eudorus 尤多鲁斯
Eudoxus 尤多索斯
Eugene of Palermo 尤金
Euler，Leonhard 欧拉
Eumaeus 尤美乌斯
Euripides 尤里庇底斯
Eurytus 尤理图斯
Eutocius of Ascalon 尤托斯乌
exhaustion，method of 归谬法
Exodus 《出埃及记》

F

falsafa （伊斯兰）哲学
Farabi，Al- 法拉比
Faradj ibn Salim 见 Farraguth
Farisi，Kamal al-din al- 法利斯，卡玛阿丁
Farghani，Al- 法尔甘尼
Farraguth 法拉古斯
Farrington，Benjamin 法林顿
Fatimids 法蒂玛派/皇朝
Ferdinand II 费迪南二世（皇帝）
Fermat，Pierre de 费马
Ferrara 费拉拉
Ferrari，Ludovico 费拉利
Ferro，Scipione 费罗
Fibonacci 费邦那奇
Ficino，Marsilio 费齐诺
Fiore，Antonio Maria 菲奥里
fiqh （伊斯兰）法理学
Firdowsi 费耳道斯
Flamsteed，John 法兰姆斯蒂
Florence 佛罗伦萨
Fludd，Robert 弗卢德
fluens 流变量
fluxus 流变度
Forli，James of 弗尔立
Francesca，Piero della 法兰切斯卡
Francis I 法兰西斯一世（法王）
Franciscans 方济各修士
Franco，Francisco 佛朗哥
Franconia 法兰根州
Frank，Erich 法兰克
Franks 法兰克人
Frauenberg 弗劳恩堡
Frederick II 腓特烈二世（皇帝）
Frederick III 腓特烈三世（皇帝）
Free Masons 共济会
Freeman，Kathleen 弗里曼
Freiburg 弗赖堡
friars 游方派，乞讨派（修士）
Froben，Johannes 弗罗本
Fulbert of Chartres 富尔伯特

G

Gaia 大地神；该亚
Galen 盖伦
Galileo Galilei 伽利略
Gassendi, Pierre 伽桑狄
Geber 见 Jabir ibn Hayyan
Geminus of Rhodes 詹明纳斯
George of Trebizond 特拉比松的乔治
Gerard of Cremona 吉拉德
Gerbert of Aurillac 热尔贝
Ghazali, Abu Hamid Al- 伽札利
Ghazan, Mahmud 合赞汗
Ghazna 伽兹南
Ghent 根特
Gilbert, William 吉尔伯特
Giles of Rome 贾尔斯
Gilgemesh 《基格米殊》
Gingerich, Owen 金格里奇
Giotto di Bondone 乔托
Glaucon 格劳孔
Gmunden, Johann of 格蒙登
gnomon 圭表，直角曲尺
gnosis 灵智
Gnosticism 灵智主义/信仰/教派
Gödel, Kurt 哥德尔
Golenishchev, V. S. 戈列尼谢夫
Gordon, Cyrus H. 戈登
Gorgias 《高尔吉亚篇》
Gorgon 戈耳工
Graham, A. C. 格雷厄姆
Granada 格拉纳达
Grand Titrations 《大滴定》
Grant Edward 格兰特
Grassi, Orazio 格拉西
Gratian 格拉提安
Graz 格拉兹
Gregory I, the Great 格里高里一世（教宗）
Gregory VII 格里高里七世（教宗）
Grosseteste, Robert 格罗斯泰特
Guidobaldo 圭多波度，同 Del Monte
Guiducci, Mario 圭都奇
Guldin, Paul 古尔丁
Gundisalvi, Dominic 根地沙尔维
Gustavus Adolphus II 古斯塔夫二世（瑞典）
Gutenberg, Johann 古腾堡
Guthrie, W. K. C. 格思里
Gutian 古梯

H

Hades 阴间
Hadrian 哈德良
Hajjaj, Al- 哈扎
Hakim, Al- 赫肯姆（哈里发）
Hall, A. Rupert 霍尔
Halley, Edmond 哈雷
Hamadan 哈马丹
Hammurapi 汉谟拉比
Hannibal 汉尼拔
Harran 哈兰
Harriot, Thomas 哈里奥特
Hasan ibn Musa, Al- 哈桑
Haskins, Charles Homer 哈斯金斯
Heath, Thomas 希斯
Heiberg, J. L. 海伯格
heliacal rising 偕日升
Helicon 赫利孔山
Heloise 埃洛伊斯

Henry II 亨利二世（英王）
Henry III 亨利三世（皇帝）
Henry IV 亨利四世（皇帝）
Henry IV 亨利四世（法王）
Henry VIII 亨利八世（英王）
Henry the Navigator 航海家亨利
Hera 赫拉
Heraclides of Pontus 赫拉克里德斯
Heraclitus 赫拉克利特
Herakleios I 赫勒克拉奥斯一世（皇帝）
Herat 哈剌
Herefordshire 赫里福德郡
Hermann of Carinthia 赫尔曼
Hermann of Reichenau 残障者赫尔曼
Hermes Trismegistus 三威赫墨斯
Hermetica《赫墨斯文献》
Hermetism 赫墨斯信仰
Hermotimus of Colophon 赫莫提姆斯
Herodotus 希罗多德
Heron of Alexandria 赫伦
Herophilus 希罗菲卢斯
Hesiod 赫西奥德
Hessen, Boris 黑森
Heytesbury, William of 赫特斯布利
Hicetus 赫谢塔
Hieron 希伦
Hilbert, David 希尔伯特
Hildebrand 希尔德布兰
Hildesheim 希尔德斯海姆
Hipparchus of Nicaea 喜帕克斯
Hippasus 希帕苏斯
Hippias《希庇亚篇》
Hippocrates of Cos 希波克拉底
Hippocrates of Chios 希波克拉底
Hittite 赫梯
Hobbes, Thomas 霍布斯
Hohenstaufen 霍亨斯陶芬
Homer 荷马
Homeridae 荷马族裔
Honorius III 洪诺留三世（教宗）
Hooke, Robert 胡克
Hooykaas, Reijer 胡艾卡斯
Horace 贺拉斯
Høyrup, Jens 海鲁普
Hubaysh ibn al-Hasan 胡拜舒
Huffman, Carl A. 赫夫曼
Hugh of Santalla 休高
Hulegu 旭烈兀
Humani corporis fabrica《论人体结构》
Humbaba 洪巴巴
Hunayn ibn Ishaq 胡奈恩
Hunyadi 匈雅提
Hurrian 胡利安人
Huss, Jan 胡斯
Hussitism 胡斯派运动
Huygens, Christian 惠更斯
Hven 汶岛
Hyksos 赫索斯人
Hypatia of Alexandria 希帕蒂娅
hypostases 实体
Hysicles of Alexandria 赫西克里斯

I

Iamblichus of Apamea 艾安布里喀斯
Ibn al-Haytham 见 Alhazen
Ibn Rushd 见 Averroes
Ibn Sina 见 Avicenna

Ihsanoglu, Ekmeleddin 伊山努格鲁
Iliad《伊利亚特》
impetus 冲能
incommensurable 不可测比
infinitesimal 无限小
Innocent III 英诺森三世（教宗）
intercalation 置闰法
Investiture Contest 授职权之争
Ionia 爱奥尼亚
Irnerius 伊内留斯
Isabella 伊莎贝拉
Isagoge《导论》、《注释》
Isfahan 伊斯法罕
Ishaq ibn Hunayn 伊萨克
Isidore of Seville 伊西多尔
Isin 伊辛
Isis《艾西斯》
Ismailites 伊斯梅教派
Isocrates 伊索克拉底
Iynges 英格使

J

Jabir ibn Hayyan 札贝尔
Jabirian Corpus 札贝尔名下作品
Jacob staff 雅各布钩棒
Ja'far ibn Barmak 札法
Jagellon 雅盖隆
Jahen, *Tabulae*《雅恩数表》
Jamal al-Din 札马阿丁
James of Venice （威尼斯的）詹姆斯
Jaspers, Karl 雅斯贝斯
Jayyani, ibn Mu^cadh al- 翟晏尼
Joachimitic 约阿希姆派
Johannes Müller 见 Regiomontanus
Johannes of Palermo （巴勒莫的）约翰
John VIII Palaeologus 约翰八世（皇帝）
John of Hollywood 见 Sacrobosco
Jordanus Nemorarius 约旦纳斯
Julian the Chaldean 迦勒底人朱利安
Julian the Theurgist 法力师朱利安
Jundishapur 郡地沙普尔
Justinian 查士丁尼

K

kabbala 卡巴拉
Kadir, Al- 卡迪尔（哈里发）
Kahn, Charles H. 卡恩
Kahun Papyrus 卡洪手卷
kalam （伊斯兰）神学
Kaliningrad 卡琳宁
Kamal al-Din 卡马阿丁，并见 Farisi
Kamil, Abu 卡米尔
Kant, Immanuel 康德
Karaji, Al- 卡拉吉
Kashan 喀山
Kashi, Jamshid Al- 卡西
katharsis 洁净仪式
Kepler, Johannes 开普勒
Khalid ibn Barmak （巴麦克）卡立德
Khalid ibn Yazid 见 Yazid
Khayyam, Omar 见 Omar Khayyam
Khorassan 呼罗珊
Khwarazm 花剌子模
Khwarizmi, Al- 柯洼列兹米
Kindi, Al- 金迪
Kitab al-Manazir《光学汇编》
Knorr, Wilbur 克诺尔
Knossos 克诺索斯

Königsberg 柯尼斯堡
Koyré, Alexandre 柯雷
Kranz, W. 克兰兹
Kret, The Epic of 《克勒特》
Kufah 库法
Kuhn, Thomas 库恩

L

La Rochelle 拉罗谢尔
Lagash 拉卡殊城
Lamashtu 拉马什图
Landes, David 兰德斯
Lanfranc of Bec 拉法朗
Langenstein, Henry of 朗根斯坦
Laon 拉昂
Larsa 拉尔萨
Lateran Council IV 拉特兰宗教大会
Lavoisier, Antoine 拉瓦锡
Laws 《法律篇》
Leibniz, Gottfried Wilhelm 莱布尼兹
Leicester 莱斯特
Leiden 莱顿
Leipzig 莱比锡
lemniscate 双纽线
Leodamas of Thasos 利奥达马
Leon 利昂（地名），雷翁（人名）
Leonardo of Pisa 见 Fibonacci
Leucippus 留基伯
Liber Mensurationum 《测算书》
licentia docendi 授课资格证书
Lindberg, David 林伯格
Lipit-Ishatar, King 利皮伊殊塔王
Lipperhey, Hans 利普尔黑
Lisieux 利雪
Lloyd, G. E. R. 劳埃德
Locke, John 洛克
Logos 逻各斯
Lollard Movement 罗拉德运动
loosing 解送
Louvain 鲁汶
Lucasian Professorship 鲁卡斯讲席
Lucretius 路克莱修
Lully, Ramon 鲁利
Luther, Martin 马丁路德
Luxor 卢克索
Lyceum 吕克昂（学堂）
Lydia 吕底亚
Lyons 里昂
Lysanias 莱萨尼亚
Lysis 莱西斯

M

Macedonia 马其顿
Macrobius 麦克罗比乌
madrasah 见 *medrese*
Maenads 巴克斯疯妇
Maestlin, Michael 梅斯特林
Maghribi, Muhi al-Din al- 马格列比
magic 魔法
magic square 数字幻方
Magna Graecia 大希腊
Magnesia 马格尼西亚
Mahdi, ibn Mansur al- 马迪（哈里发）
Mahmud 马哈茂德
Majiriti, Al- 见 Maslama
Makdisi, George 马克迪西
Malik-Shah 马利克（国王）
Ma'mum, Abd Allah al- 马孟（哈里发）

Mandaeanism 曼达教派
Manetho 曼尼韬
Mani 摩尼
Manichaeism 摩尼教
Manuel Comnenus 曼努尔（皇帝）
Mansur, Abu Jafar Al- 曼苏尔（哈里发）
Mansur, Abu Nasr 曼苏尔
Manzikert, Battle of 曼兹克特之役
Maragha School 马拉噶学派
Marchia, Franciscus de 马基亚
Marcus Aurelius 马可奥勒利乌斯（皇帝）
Mari 马利
Marianus 马利安纳斯
Marinos of Tyre 马林诺斯
Marrakesh 马拉喀什
Marsilius of Padua 马西利乌斯
Mary 梅理
Masha'allah 见 Messahalla
Maslama ibn Ahmad 马斯拉马
mathematikoi 习数众
Matilda of Tuscany 玛蒂尔达
Matthias Hunyadi 马堤亚（国王）
Maurice of Orange, Prince 莫里斯亲王
Maurolyco, Francesco 摩罗力高
Mayow, John 梅友
McNeill, William 麦尼尔
Medes 米堤亚人
Medici 梅第奇（家族）
medrese （伊斯兰）高等学院
Megara 迈加拉
Mehmet II 穆罕默德二世（哈里发）
Melanchthon, Philipp 梅兰希顿
Memphis 孟菲斯
mendicant orders 见 friars
Menaechmus 门纳木
Menelaus of Alexandria 曼尼劳斯
Meno 《美诺篇》
Mercator, Nicholas 墨卡托
Merovingian 墨洛维人/王朝
Mersenne, Marin 梅森
Merton, Robert K. 默顿
Merton College 摩尔顿学院
Merv 梅尔夫
Messahalla 马撒哈拉
Metapontium 梅塔庞同
metempsychosis 灵魂转世
Meton 莫顿
Michael Scot 苏格兰人米高
Michelangelo 米开朗琪罗
Milan, Edict of 米兰诏令
Miletus 米利都
Minos 米诺斯
Minotaur 米诺牛魔
Mirandola, Pico della 米兰多拉
Mistra 米斯特拉
Mnemosyne 记忆女神
Mnemsarchus 尼莫沙喀斯
Moderatus of Gades 摩德拉图斯
Moerbeke, William of 摩尔巴克
Monophysites 一性论派
Monte Cassino 卡西诺山
Montpellier 蒙波利埃
Morienus 莫里安纳斯
Moses of Bergamo 贝加莫的摩西
Mozarabs 莫差剌人
Muhammad ibn Musa 穆罕默德

Müller, Johannes 见 Regiomontanus
Mummu 云雾神
Murad III, Sultan 穆拉三世（苏丹）
Musa brothers 穆萨兄弟
Muses 缪斯
Museum 学宫
Müstinger, Georg 梅斯丁格
Mutazilites 穆泰齐拉教派
Mycenae 迈锡尼
Mysterium Cosmographicum 《宇宙奥秘》

N

Nantes, Edict of 南特诏令
Napier, John 纳皮尔
Naucratis 诺克拉提斯
Nave, Annibale dalla 纳韦
Needham, Joseph 李约瑟
Nemorarius 见 Jordanus Nemorarius
Neoclides 尼奥克里德斯
Nerva 内尔瓦
Nestorians 聂斯脱利教派
Netherlands 尼德兰，低洼地区
Neugebauer, Otto 奈格包尔
Neuremberg 纽伦堡
Newcomb, Simon 纽科姆
Newton, Isaac 牛顿
Nicaea 尼西亚
Nicholas V 尼古拉五世（教宗）
Nichomachus of Gerasa 尼高马可斯
Nicolaitism 姘居
Nicomedes 尼科梅底
Nigidius Figulus 尼吉地乌
Niniveh 尼尼微
Nishapur 尼沙布尔
Nisibis 尼斯比斯
nominalism 唯名论
Normans 诺曼人
Notre Dame 圣母院
nous 心智
Novara, Domenico Maria di 诺瓦拉
number, abundant 充盈数
number, amicable 友善数
number, deficient 亏缺数
number, perfect 完整数
number, oblong 长方数
number, polygonal 多边形数
Numenius of Apamea 纽曼尼亚斯
Nun 原水，奴恩

O

Occam, William of 奥卡姆
Odessey 《奥德赛》
Odo of Lucca, Bishop 奥度主教
Odovacer 奥度瓦瑟
Odysseus 奥德修斯
Oenopides 俄诺庇得斯
Okeanos 海洋
Oldenburg, Henry 奥登堡
Olympia 奥林匹亚
Omar Khayyam 奥玛开阳
opposition 冲（天文）
Oresme, Nicole 奥雷姆
Origen 奥利金
Orleans 奥尔良
Orpheus 奥菲士
Orphism 奥菲士教派
Otto, the Great 奥托大帝
Ottoman Empire 奥图曼帝国

Oughtred, William 奥特雷德
Ouranos 穹天
Ovid 奥维德

P

Pacioli, Luca 帕乔利
Padua 帕多瓦
Palermo 巴勒莫
Panaetius 潘尼提乌
Panathenaea 雅典娜大节
Pappus 泊布斯
Paracelsus 帕拉塞尔苏斯
Parallel Lives《比较传记》
Parmenides 巴门尼德
Pascal, Blaise 帕斯卡
Pavia 帕维亚
Peckham, John 佩卡姆
Pedersen, Olaf 佩德森
Peloponnese 伯罗奔尼撒
Peregrinus 佩里格林纳斯
Perga 帕噶
Pergamum 帕加马
Pericles 伯里克利
Perictione 佩理提翁尼
Persephone 珀耳塞福涅
Perseus 珀耳修斯
Perspectiva《光学》
perturbation 微扰法
Peter Abelard 见 Abelard
Peter Lombard 彼得隆巴德
Peter the Venerable 可敬者彼得
Peters, F. E. 彼得斯
Petrarch 佩特拉克
Peucer, Caspar 波瑟
Peuerbach, Georg von 波尔巴赫
Phaedo《斐多篇》
Phaedrus《斐德罗篇》
Pherecydes 菲勒塞德斯
Phidias 菲底亚斯
Philebus《斐莱布篇》
Philip II 腓力二世（马其顿）
Philip II 腓力二世（西班牙）
Philip IV, the Fair 腓力四世（法王）
Philip V 腓力五世（安提柯）
Philippus of Mende 菲利普斯
Philo of Alexandria 费罗
Philo of Larissa （拉里莎的）费罗
Philolaus 费罗莱斯
Philon of Byzantium 费隆
Philoponos, John 费劳庞诺斯
Phoenicia 腓尼基
Picatrix《辟加特力斯》
Piccolomini 皮科洛米尼
Pius II 庇护二世（教宗）
Plato 柏拉图
Plato of Tivoli 蒂沃利的普拉托
Platonists 柏拉图学派
Pleroma 灵界
Plethon, George Gemistus 柏拉同
Pliny the Elder 普林尼
Plotinus 柏罗丁
Plutarch 普卢塔赫
Pluton 冥王
Polemarchus 波利马克斯
Polycrates 波利克拉提
Polemo 普勒模
Pompey 庞贝

Pope, Alexander 蒲柏
Porphyry of Tyre 波菲利
Posidonius of Rhodes 博斯多尼乌
Postel, Guillaume 波斯特尔
Prague 布拉格
Pressburg 普雷斯堡
Price, Derek de Solla 普莱斯
Priestley, Joseph 普里斯利
Proclus Lycius 普洛克鲁斯
Prometheus 普罗米修斯
Protagoras 普罗泰戈拉
Ptolemy, Claudius 托勒密
Ptolemy I, Soter 托勒密一世，救主
Ptolemy VIII, Physcon 托勒密八世，胖肚皮
Punic Wars 布匿战争
Pyrilampes 皮里兰佩
Pyrrhon of Elis 皮罗
Pyrrhus of Epirus 皮鲁斯
Pythagoras 毕达哥拉斯/毕氏
Pythagoreans 毕氏教派/学派

Q

Qadi Zada 卡迪札达
quadratrix 求积线
Quhi, Al- 库希
Qutb al-Din al-Shirazi 库图阿丁

R

Rahman III, Abd al- 拉曼三世（哈里发）
Raleigh, Walter 罗利
Raphael 拉斐尔
Raqqah 拉卡
Rashdall Hastings 罗舒道尔
Rashed Roshdi 拉希德
Rashid, Harun al- 拉昔（哈里发）
Rasoul, abdel 拉苏尔
Ratisbon 拉提斯邦
Ravenna 拉韦纳
Raymond, Archbishop 雷蒙大主教
Rayy 雷城
Razi, Al- 拉齐
realism 唯实论
reductionism 化约论
Regiomontanus 拉哲蒙坦那
regula ptolemaei 托勒密量尺
Reinhold, Erasmus 莱浩
Reisner Papyrus 赖斯纳手卷
Republic《国家篇》
retrogradation 逆行
Reuchlin, Johann 莱赫林
Rhazes 见 Razi, Al-
Rheims 兰斯
Rheticus, Joachim 雷蒂库斯
Rhind Papyrus 林德手卷
Rhodes 罗德斯岛
Ricci, Mateo 利玛窦
Ricci, Ostilio 里奇
Richelieu, Cardinal 黎塞留
Ries, Adam 里斯
Robert of Chester （切斯特的）罗伯特
Roberval, Gilles 罗贝瓦尔
Robinson, Kenneth 罗宾逊
Roche, Etienne de La 罗什
Rocicrucianism 玫瑰十字派
Roger II, King 罗杰二世（西西里）
Roger Bacon 见 Bacon, Roger
Roscelin 洛色林
Rosetta Stone 罗塞特石碑

Rouen 鲁昂
Royal Society 皇家学会（英国）
Rubaiyat《四行诗集》，《鲁拜集》
Rudolf II 鲁道夫二世（皇帝）
Rudolph IV, Duke 鲁道夫四世
Rudolff, Christopher 鲁道夫
Ruggieri, Michele 罗明坚
Rukh, Shah 陆克王
Russell, Bertrand 罗素

S

Sabbioneta, Gerard of 萨比奥尼塔
Sacherri, Giovanni 锡克利
Sacrobosco 萨克罗博斯科
Saint-Vincent, *Gregory of* 圣文森特
Sakkas, Ammonius 沙喀斯
Salamanca 萨拉曼卡
Salamis 萨拉米
Salerno 萨莱诺
Saliba, George 沙理巴
Samanid 萨满尼
Samarkand 撒马尔罕
Samawal, Al- 善马洼
Sambursky, S. 山布尔斯基
Samos 萨摩斯
Saqqara Stone 塞卡拉墓刻碑
Sargon the Great 萨尔贡大帝
Saros cycle 沙罗斯周期
Sarpi, Paolo 萨尔皮
Sarton, George 萨顿
Sassanid Dynasty 萨珊皇朝
Savile, Henry 萨维尔
Sayili, Aydin 萨伊利
Schmitt, Charles 史密特
Schönberg, Nikolaus 舍恩贝格
Schöner, Johann 舍纳
secession （大学）集体离城
Seleucid 塞琉西
Seljuk Turk 塞尔柱突厥人
Semite 闪米特人
Seneca the Younger 塞内加
Senegal 塞内加尔
Sentences《撮要》
Serapeum 塞拉皮神庙
Serapis 塞拉皮斯
Serenus of Antinoupolis 塞里纳斯
Seres 丝地
Seville 塞维尔
Sforza, Ludovico 史佛查
Shah-Nameh《帝王纪》
Sharaf Ad-Dulah 色拉夫
Shatir, Al- 沙提尔
Shiraz 设拉子
Shirazi, Qutb al-din Al- 舒拉兹，即库图阿丁
Sicilian Vespers 西西里晚祷事件
Siderius nuncius《星际信使》
Siena 锡耶那
Sigismund 西吉斯蒙
Silesia 西里西亚
Simmias 西米亚斯
Simon Magus 尊者西门派
Simony 鬻卖职位
Simplicius 辛普里修斯
Singer, Charles 辛格
Sinuhe, *The Tale of*《辛努赫》
Sivin, Nathan 席文
Smyrna 士麦那

Snell, Willebrord 斯涅尔
Socrates 苏格拉底
Solon 梭伦
sophist 智者
Southern, R. W. 守尔顿
Sparta 斯巴达
Spence, Jonathan 史景迁
Speussipus 斯彪西波
Sponheim 斯班海姆
Spring of Lethe 忘泉
Spring of Mnemosyne 忆泉
St. Bartholomew's Day 圣巴多罗买节
St. Genevieve 圣热纳维耶芙修院
St. Victor 圣维克多修院
Stagira 斯塔吉拉
Stahl, William H. 斯塔尔
station 留驻（天文）
Steganographia《密码术》
Stephanos of Alexandria 斯特凡诺斯
Stephen of Antioch 安提俄的斯蒂芬
Stevin, Simon 斯特文
Stifel, Michael 施蒂费尔
Stoicism 斯多葛学派
Strabo of Amasya 斯特拉波
Strasburg 斯特拉斯堡
Strato of Lampsacos 斯特拉托
studium generale 师生联合会（大学统称）
Sulla 苏拉
Sumer 苏美尔
Summa Theologica《神学要义》
Swabia 士瓦本
Swerdlow, N. M. 施瓦罗
Swineshead, Richard 理查德·斯韦恩斯赫
Swineshead, Roger 罗杰·斯韦恩斯赫
Sybaris 锡巴里斯
Syene 塞伊尼
Sylvester 西维斯特
Syracuse 叙拉古
Syrianus 西里安纳斯

T

Tacitus 塔西陀
Tacquet, Andrea 塔凯
Tadhkira fi'ilm《天文学论集》
taifa 蕃国
talisman 符偶
Tamerlane 见 Timur
Taqi al-Din 塔基阿丁
Tarazona 塔拉佐那
Tarento, Vincent of 塔伦托
Tarentum 塔伦同
Tartaglia, Niccolo 泰特利亚
Telesterion 泰利殿堂
Teletai Mysteries 泰利台神秘仪式
Teletarchs 始动者
Tempier, Stephen 谭皮尔
Tengnagel, Franz 唐纳高
Tertullian 德尔图良
Tetrabiblos《四部书》
Tetractys 四数点阵
Teutonic Knights 条顿武士团
Thabit ibn Qurra 萨比特
Thales 泰勒斯
Theaetetus 泰阿泰德
Thebes 底比斯
Themon Judaeus 谭蒙
Theodoric 施奥多力（国王）

Theodoric of Freiberg 西奥多里克
Theodorus 特奥多鲁斯
Theodosius of Bithynia 狄奥多西
Theodosius the Great 狄奥多西大帝
Theogony 《神统纪》
Theon 施安
Theophrastus 特奥弗拉斯特
Theoricae novae planetarum 《新行星理论》
Thera 锡拉岛
Theudius of Magnesia 修底乌斯
theurgy 法力
Thierry of Chartres 梯尔里
Thorndike Lynn 桑达克
Thoth 透特
Thrace 色雷斯
Thuringia 图林根
Ti'amat 海水
Tiglath-pileser III 提革拉帕拉萨三世（国王）
Timaeus 《蒂迈欧篇》
Timocharis 提摩克里斯
Timur 帖木儿
Titan 泰坦
Toledo 托莱多
Toomer, G. J. 图默
Topics 《论题篇》
Torricelli, Evangelista 托里拆利
Torun 托伦
Toulouse 图卢兹
Tours 图尔斯
Trajan 图拉真
Tractatus de proportionibus 《运动速度比例论》
transmigration 转世
transubstantiation （圣餐）变质论
Trebizond 特拉比松
Trent, Council of 特伦特宗教大会
Triangulis 《三角论》
Triparty 《三部书》
trisectrix 三分线
Trithemius, Johannes 特里希米
Troy 特洛城
Trouillard, J. 特鲁亚尔
Tübingen 蒂宾根
Tufayl, Ibn 图费尔
Turk, abd-al Hamid Ibn- 图尔克
Tus 图斯
Tusi, Nasir al-Din al- 图西/纳西尔图西
Tusi couple 图西双轮
twilight 曙暮光
Tycho Brahe 第谷
Tyre 泰尔

U

Ubaidian 乌拜德
Ugarit 乌格列
Ulugh Beg 兀鲁伯
Umayyard Caliphate 乌美亚皇朝
universitas （中古大学）学生联合会
Ur 乌尔
Uraniborg 乌兰尼堡
Urban IV 乌尔班四世（教宗）
Urbino 乌尔比诺
Urdi, Muayyad al-Din al- 乌尔狄
Ur-Nammu 乌尔南姆
Uruk 乌鲁克
Urukagina 乌鲁卡基那

V

Valentinianism 瓦伦廷教派

Valerio, Luca 瓦莱里
Varmia 瓦尔米亚
Varro 瓦罗
Verbiest, Ferdinand 南怀仁
Vere, Bishop de 维尔主教
Vermeer, Jan 弗米尔
Vesalius 维萨里
Viéte, François 维艾特
Villanova, Arnold of 维兰诺瓦
Vincent of Beauvais 见 Beauvais
Vincent of Tarento 见 Tarento
virtus impressa 传施能力
Vitruvius 维特鲁威
Viviani, Vincenzio 维维安尼
Vladislaus II 符拉迪斯劳二世（波兰国王）

W

Walcher of Malvern 沃尔克
Wallenstein, Abrecht von 瓦伦斯坦
Wallis, John 沃利斯
Walther, Bernhard 瓦尔特
Watzenrode, Lucas 瓦臣罗德
Weber, Max 韦伯
Weierstrass, Karl 魏尔施特拉斯
West, Martin 韦斯特
Westphalia 威斯特伐利亚
Whewell, William 赫威尔
White, Lynn 怀特
Whitehead, Alfred North 怀特海
William III 威廉三世（英王）
William of Champeaux 香普的威廉
William the Conqueror 征服者威廉
Witelo 维提罗
Wittenberg 维腾堡
Wittfogel, Karl 魏复光
Wittgenstein, Ludwig 维根斯坦
Wren, Christopher 雷恩
Württemberg 符腾堡
Würzburg 维尔茨堡
Wycliff, John 威克里夫

X

Xenocrates 塞诺克拉底
Xenophanes 色诺芬
Xerxes 薛西斯

Y

Yates, Francis 耶茨
Yazid, Khalid ibn 雅兹德（亲王）
Yoder, Joella G. 尤达
Yunus, Ibn- 尤努斯

Z

Zarqalluh, Ibn al- 札噶里
Zarqali, al- 见 Zarqalluh
Zeller, Eduard 切勒
Zeno 芝诺
Zenta 山塔
Zeus 宙斯
zîj 天文数表
Zilsel, Edgar 赤尔素
Zodiac 黄道带
Zoroaster 琐罗亚斯德
Zosimos of Panopolis 佐西莫斯
Zwingli, Ulrich 茨温利

索　　引

（1）索引中主条目均按拼音排序，其下之次条目排序无定规，一般按性质或者时序。

（2）书籍、文献一般作为次条目分列于以下 12 个主条目：数学；天文学；天文数表；物理与其他科学；医学、生物学与自然史；炼金术、星占术与魔法；文学及艺术；历史与文献汇编；宗教与神学；科学史；柏拉图著作；亚里士多德著作。少数重要典籍例如《大汇编》、《几何原本》、《天体运行论》等各自另立主条目，但亦分别在上列相关主条目中注明。

（3）页码后附有 ff 符号者指"以及随后各页"；n 指注释，例如 465n2 指 465 页注 2；页码以黑体字标示者指有关该条目之主要或重要论述。

（4）主条目与次条目页码重复者一般仅在次条目中列出；在书中广泛出现之主要人物、城市、题材（例如柏拉图、亚里士多德、雅典、希腊科学等）一般不列全部页码，或者仅列相关次条目之页码。

A

阿巴斯阿里 Ali-ben-Abbas 380,389

阿拔斯皇朝 Abbassid Caliphate 311, 314－316, 319, 321, 329, 332, 333, 336, 343, 355, 365

阿波隆尼亚斯 Appolonius of Perga 105, 165, 178, 184, 190, 196, **202－206**, 209, 212, 214－216, 230, 249, 259, 260, 270, 283, 295, 300, 301, 322, 355, 358, 493, 535, 572, 587, 604

阿波隆尼亚斯 Appolonius of Tyana 113

阿波罗 Apollo 117,118

阿伯拉 Abelard 398, 399, **405**, **406**, 407－410, 427, 428

阿布德拉 Abdera 90,100

阿布卡西姆 Abu'l Kasim al-Iraqi 340

阿布玛莎 Abumasar 383,385

阿布瓦法 Abu'l-Wafa 311, 326, **332－335**, 349, 352, 356

阿德阿都拉 Adud Ad-Dulah 332

阿德拉 Adelard of Bath 330, 380, **382**, **383**, 389, 391, 393, 406, 432, 452, 454, 459, 520

阿都拉曼三世 Abd al-Rahman III 381

阿尔贝提 Alberti 504–507, 522

阿尔伯特，萨克森的 Albert of Saxony 461

阿尔伯图，大 Albertus Magnus 32, 340, 345, 418, 420, 429, 433, 436, **437－439**, 440, 442, 444, 453, 455, 457, 510, 515, 532, 608

阿尔昆 Alcuin 303

阿法拉 Jabir ibn Aflah 310, **351**, **352**

阿方索六世 Alfonso VI 376, 381, 384

阿方索六世 Alfonso VI of Leon 381

阿方索七世 Alfonso VII 384

阿方索十世 Alfonso X 353
阿夫南 S. M. Afnan 346
阿伽门农 Agammemnon 69, 75
阿格里城 Agrigentum 95
阿格里帕 Agrippa 513, 516
阿基柏斯 Archippus 141, 142
阿基劳斯 Archelaus 97
阿基米德 Archimedes 101, 158, 160, 163, 184, 189–191, **196–202**, 203, 204, 208–212, 214, 220, 222, 225, 232, 259, 260, 266, 289, 301, 322, 324, 356, 363, 377, 387, 393, 429, 434, 435, 452, 490, 493, 528, 534, 535, 537, 538, 549, 572, 604, 605, 610–612, 629
阿基塔斯 Archytas 95, 102, 124, 131, 135, 141, 142, **143**, **144**, 147, 148, 150, 151, 158, 160–162, 209, 240, 242, 290, 301, 633
阿喀琉斯 Achilles 69, 94, 115, 185, 566
阿卡德语 Akkadian 43, 50, 69, 70
阿卡西劳斯 Arcesilaus 180, 234, 640
阿奎那 Aquinas 32, 344, 366, 390, 421, 428, **429**, 437, 438, 457
阿拉贡 Aragon 456
阿拉穆 Alamut 354
阿拉塔 Aratta 41
阿里布亚 Ali Buya 332
阿里斯顿 Ariston of Chios 212
阿里斯它喀斯 Aristarchus of Samos 133, 183, 184, 189, 190, 205, **208–212**, 218, 219, 228, 229, 269, 355, 396, 500, 501, 535, 597, 604, 613, 629
阿里斯它喀斯 Aristarchus of Samothrace 209, 212
阿里斯塔罗 Aristallus 208, 217
阿里斯提柏斯 Henricus Aristippus 391, 392
阿里斯提乌 Aristaeus the Elder 203
阿里斯托芬 Aristophanes of Byzantion 212
阿里乌 Arius 580, 581, 634
阿美西斯 Amasis 112
阿孟尼亚斯 Ammonias Hermias 300
阿米克拉 Amyclas of Heracleia 162
阿摩利人 Amorites 40, 42, 44
阿莫斯二世 Ahmose II 186
阿那克萨戈拉 Anaxagoras 80, **96**, **97**, 98, 99, 101, 145, 158, 170, 301
阿那克西曼德 Anaximander 81, 83, **86–88**, 89, 111, 112, 170
阿那克西美尼 Anaximenes 67, 81, 82, **88**, **89**, 108, 124, 170, 640
阿帕米亚 Apameia 228, 254
阿斯克勒庇俄斯 Asclepius 181, 249
阿它鲁 Attalus of Rhodes 217
阿威罗伊 Averroës 323, 343, **346–348**, 352, 365, 368, 393, 428, 430, 437, 438, 470
阿维森纳 Avicenna 310, 311, 324, 335, **343–346**, 348, 354, 356, 357, 366, 368, 385, 387, 438, 457, 465, 517
阿兹哈尔清真寺 Azhar Mosque 340
埃及 **36–40**;数学手卷 35, 36, 39, 44–49, 630; 天文学 166–167
埃洛西斯信仰 Eleusianism **116**, **117**, 122, 123
埃斯库罗斯 Aeschylus 70
艾安布里喀斯 Iamblichus 135, 141, 223, 243, 254, 255, 300, 647
艾德萨 Edessa 313
艾拉托色尼 Eratosthenes 183, 184, 190, 197, 202–205, 207, **212–215**, 221, 229, 238, 242,

285,290,301,645

爱奥尼亚 Ionia 68,71,74-76,**78**,79-81,85,89-93,95,96,108-110,113,114,117,119,162,169,631

爱达米尔 Aidamur al-Jildaki 340

爱利亚学派 79,80,91,92,**93-95**,97,98,150

安达鲁斯 Al-Andalus 346-348,350-353

安茹公爵 Duke of Anjou 423

安瑟姆,拉昂的 Anselm of Laon 405,406,**408,409n**

安瑟姆,圣 St. Anselm 344,427,432

安特卫普 Antwerp 566

安提伯特 Antipater 181

安提俄 Antioch 331,388,389

安提芳,智者 Antiphon 159,160

安提柯王国 Antigonid 215

安条克,阿什盖隆的 Antiochus of Ascalon 235

安条克三世 Antiochus III 224,225

安哲罗 Jacopo d'Angelo 289

奥德修斯 Odysseus 70,115

奥登堡 Oldenburg 581

奥度瓦瑟 Odovacer 297

奥度主教 Bishop Odo 407

奥尔良 Orleans 417

奥菲士 Orpheus 95,**111**,**112**,116,123,125,129

奥菲士教派 Orphism 113-116,**117-119**,122,129,290

奥古斯丁 Augustine 223,254,298,**299**,346,405,421,422,428,429,435,438,511,525,559,594

奥卡姆 William of Occam 428,463

奥雷姆 Oresme 28,458,463,**466-469**,473,*500,515,520,532,564,601,608,613*

奥利金 Origen 223,241,243,**298**,**299**

奥林匹亚 Olympia 68,74,79,115,116

奥玛开阳 Omar Khayyam 311,324,**328**,**329**,343,348,450-452,526

奥秘 arcana 123,338

奥特雷德 Oughtred **570**,578

奥图曼帝国 Ottoman Empire 45,364,369,420,441,473,474,483,484,491,517,518,549,601,606,608,611

奥托大帝 Otto the Great 373,407,484

奥托吕科斯 Autolycus 154,194,**207**,227,259

B

巴比伦 Babylon 24,32,38,40,67-72,82,84,85,109,112,113,121,131,135,165,186,194-196,200,206,208,216,218,220,231,251,267,273,274,291-293,326,327,451,509,526,598,600,630,631;旧巴比伦王朝 41-43,**44**,63,68;迦勒底巴比伦 42,44,247;其文明西传的途径 70-72;数学 35,**50ff**,109,135,216,220,231,630;天文学 **167-169**,177,178,266

巴尔贝里尼,弗兰切斯可 Francesco Barberini 554

巴尔贝里尼,马菲 Maffeo Barberini 554

巴尔克 Balkh 312,316,343

巴格达 Baghdad 41,71,153,310,321,323,325,327,329,331-333,343,350,353,367,394,606,631;建造 **315**,**316**;焚毁 **354**

巴克尔 Abu Bakr 326

巴克斯 Bacchus 116-119

巴勒莫残石 Palermo Stone 38

巴黎大学 310,348,395,402,403,**407-413**,

414-417,429,433,436,439,464,485,524,559,606,614
巴力门 Parliament 425
巴罗 Isaac Barrow 568,**572**,574,579,608
巴麦克家族 Barmaks **316**,336
巴门尼德 Parmenides 67, 80, 91, **93**, **94**, 95, 98, 99, 135, 141, 145, 300, 530, 625
巴纳德 Bernard of Clairvaux 405-407
巴坦尼 Al-Battani **331**,332,385
巴西勒 Basil the Great 223,298,**299**
百年战争 419,459,469,473,474,476,484
柏拉同 Plethon **482**,**483**,488,508
柏拉图 Plato:家族 145;生平与事业 **145-148**;对数学态度 152,160-162;对天文学态度 171-173;——立体,见正多面体;的地下世界 244ff;并见柏拉图《对话录》、柏拉图学派、学园
柏拉图《对话录》*Dialogues* 140,141,154,393,508
渊源与分期 **149-151**
流传与翻译 235,236,322,323,377,391,393,482,483,**508**
《自辩篇》*Apology* 146
《卡米德篇》*Charmides* 146
《斐多篇》*Phaedo* 142, 147, 149, 171, 172, 391
《美诺篇》*Meno* 142,149,150,154,391
《斐德罗篇》*Phaedrus* 147,149,171,253
《高尔吉亚篇》*Gorgias* 149
《泰阿泰德篇》*Theaetetus* 149, 150, 154, 158n1
《国家篇》*Republic* 103, 123, 134, 136, 144, 147-150, 152, 154, 155, 171, 172, 242, 300, 347
《斐来布篇》*Philebus* 149,150
《蒂迈欧篇》*Timaeus* 124, 128, 129, 132, 136, 137, 143, 144, 148-150, 154-155, 172, 235, 236, 240, 247, 255, 322, 377, 391, 435, 547, 629
《法律篇》*Laws* 103, 149, 152, 157, 173, 483
柏拉图学派:中期柏拉图学派 223,240,241;新柏拉图学派 252-255;剑桥柏拉图运动 562
柏罗丁 Plotinus **252**,**253**,254,255,344
波耶 Carl Boyer 162n1, 165n1, 293n1, 294n1, 329n1, 357n2, 443n1-2, 446n1, 450n1, 454n2, 461n2, 520n2, 521n2, 522n1, 533n1
拜德 Bede **302**,303,377
拜占庭 Byzantium 251, 296, 313, 318, 320, 455, 481, 482, 499, 507
邦贝利 Bombelli 293,522,**531**,**532**,533,607,610
贝克曼 Isaac Beeckman 559,560
贝克特 Thomas Becket 415,422,432
贝拉敏 Bellarmine 553,554
贝理奥学院 Balliol College 459,461n1
贝利卡 Martin Bylica 491
贝伦加尔 Berengar 378,408,427
贝罗索斯 Berossos **169**,220,292
贝沙理安 Bessarion 482, **483**, **484**, 488-491, 500,508,532,612
本大卫 Joseph Ben-David 604,607,614
本笃 Benedict of Nursia 372
本轮模型 173,174,178,205,206,220,266,**269-276ff**, 279-283, 306, 307, 355, 359, 498, 499,

501,546
本始神学 *Prisca theologia* 508,511,562
本始智慧 *prisca sapientia* 562,586,595,596
比安奇尼 Bianchini 488
比例理论 theory of proportion 135,155,158,162,**163**,**164**,192-195,351,470
比伦尼 Al-*Biruni* 311,**334**,**335**,339,349,356
比萨公国 Dukedom of Pisa 389
比特鲁吉 Al-Bitruji **352**,**353**,392,498
彼得,可敬者 Peter the Venerable 383
彼得阿方斯 Petrus Alfonsi **379**,383,432,459
彼得隆巴德 Peter Lombard 405,**406**,**407**,408,409,428,440
彼得斯 F. E. Peters 186n3,187n3,215n1,225n1,226n1,232n1,234-236n,250n3,252n3,254n1,255,313n1,314n2,320n1,321n2,366n1
毕达哥拉斯 Pythagoras 33,49,62-64,66,67,71,79-81,86,89,91-95,98,102,104,105,120,121,129,131,137,141,149,157,158,160,162,165,171,181,232,236,240,243,244,252,253,263,290,291,322,324,337,371,474,503,506,507,511,512,515,534,547,581,596,602,603,608,611,626,629,630,632,634;时代背景 111,112;生平与事业 **112-115**;有关——的争议 107-110
毕达哥拉斯定理 49,**62-64**,135,220,324
毕达哥拉斯教派 Pythagoreanism 93,98,106,**113-115**,119,148,232,239,253,290,291,371,600;与奥菲士教派的渊源 117-119;传承与消融 **141-144**,153-154;与柏拉图 **147-151**;教义 **122**,**123**;教规与组织 120-122;数目神秘主义 **126-129**;音乐理论 **129-132**,138,139,290,291;天球谐乐说 133,134,544-547;宇宙构想 **124-126**,**132-134**;与西方科学传统 **135-137**;在罗马时代"复活"239-240;新毕达哥拉斯教派 240-244
变质论 transubstantiation 427
波尔巴赫 Peuerbach 454,484,**488-490**,492,503,515,612,615
波菲利 Porphyry 107,113,134,223,242,**253**,**254**,255,304,406
波利克拉提 Polycrates 112,113
波利马克斯 Polemarchus 177
波鲁斯 Bolos Democritus 223,**250**,**251**
波瑟 Peucer 502,503,542,597
波斯帝国 36,39,42,44,89,90,112,171,186,312,314,318
波斯特尔 Postel **499**,500,606
波伊提乌 Boethius 223,292,302,**303**,**304**,305,377,390,406
玻义耳 Boyle 455,558,562,569,577,578,580
伯尔曼 Harold Berman 374n1,399
伯理克利 Pericles 96,144,145
伯罗奔尼撒战争 Peloponnesian War 102,185
伯纳德 Bernard of Sauvetot 381,384,609
伯努利 Bernoulli 589
泊布斯 Pappus 155,158,204,205,214,223,239,257,292,**294**,**295**,300,304,324,535,560
勃艮第奥 Burgundio of Pisa 389
博洛尼亚 Bologna 375,393-395,398,399,407,411,414,416,417,483,486,494,500,520,522,531,612,631
博洛尼亚大学 397,**400-403**,409,412,484,

527,550,564,609
博纳米奇 Buonamici 466
博努斯 Petrus Bonus 641
博斯多尼乌 Posidonius 223, 227, **228**, **229**, 234, 235, 243, 285, 300, 443
博韦的文森特 Vincent of Beauvais 457
博雅教育 liberal arts education 65, 215
薄迦丘 Boccacio 504
卜尼法斯八世 Boniface VIII 422, 423
不可测比 incommensurable 142, 154, **155–158**, 160, 467
布尔克特 Walter Burkert 67, 69, 108, 109, 121, 143
布尔立 Walter Burley 461
布哈拉 Bukhara 343
布拉格大学 Prague University 426, **485**, 498
布拉沃丁 Bradwardine 425, 426, 458, **459–461**, 464, 467, 469, 470, 471, 473, 520, 532, 569, 608, 613
布里丹 Buridan 28, 345, 463–466, 467n2, 469, 500, 601, 608, 613
布里格斯 Briggs 570
布理 John B. Bury 23
布鲁内莱斯基 Brunelleschi 330, **505**, 507
布鲁诺 Bruno 509, **514**, 515, 516, 551
布鲁丘乌 Brudzewo 498
布匿战争 Punic Wars 197, 225
布泰伊苏 Bukhtyishu 316, 642
布伊德人 Buyids 329, 332, 333

C

草纸 papyrus 38, 41, 45, 46, 49, 53, 250, 251
查理大帝 Charlemagne 372, 373
查理二世 Charles II 479, 572, 577, 587
查理四世 Charles IV 485
查理五世 Charles V 466, 477
查理一世 Charles I 479
查士丁尼大帝 Justinian I, the Great 153, 314, 398
陈方正 33n2, 193n2, 597n2, 625n4, 628n1, 632n1–2
赤尔素 Edgar Zilsel 13, 14, 30
赤经 right ascension、赤纬 declination 217, 621
冲能 *impetus* 345, 464–466, 469
传施能力 *virtus impressa* 465
茨温利 Zwingli 517
磁学 magnetism: 与科学革命 624, 625; 古代中国的研究 623–626; 欧洲的研究 **448**, **449**, **488**, **489**, 475, 616, 617, 626; 磁偏角 489; 并见罗盘、指南针

D

达达尼尔海峡 Dardarnelles 474
达芬奇 da Vinci 346, 448, 454, 504, **506**, **507**, 522, 523, 529, 531
达马修斯 Damascius 223, 300, 301, 303, 314
达斯廷 John Dastin 457
《大汇编》 *Almagest* 106, 205, 208, 216, 217, 219, 220, 257, 259, 260, **261–266ff**, 295, 296, 308, 320, 322, 326, 330, 331, 343, 350, 352, 355, 387, 388, 391, 392, 453, 454, 486–489, 491, 493, 496, 503, 546, 615; 撰写 260, 261; 内容综述 **261**, **262**; 数学基础 **263–265**; 日月运行理论 266–276, 306–308; 行星运行理论 279–283; 恒星表 277, 278; 翻译与流传 320, 322, 387, 391, 392, 486–491, 498; ——的批判 349–352, 355, 359
大流士 Darius 96, 171

大马士革 Damascus 310, 315, 316, 348, 357, 358, 365, 499
大希腊 Magna Graecia 74, 79-81, 92, 114, 118
大学，欧洲中古 394-396ff; 法学院渊源 **397-401**; 座堂学校渊源 **407-411**; 伊斯兰渊源 366, 367, 396; 文学院/初等学院 403, 409, 412, 413; 医学院 403, 404, 416; 神学院 403, 406-409, 412, 413; 高等学院 superior faculty 403, 413; 书院/学院 college 396, 400, 413-416; 学生联合大会 *universitas* 400; 国族 nation 400, 412, 485; 自我解散 dissolution 411, 412, 415; 集体离城 secession 401; 监督 chancellor 402, 410, 416; 学长/校长 rector 401, 412, 416, 417; 授课资格证书 *licentia docendi* 400; 移植与扩散 **414, 415**; 与现代科学 420, 421, 607-609
代数学：远古渊源 **53-58**; 伊斯兰时期 **325-327**; 近代突破 **526-532**, 539; 符号算式的发展 523-526, 529, 532; 求平方根 56, 451; 级数求和 46, 328, 330, 462, 463, 563, 564; 并见方程式解与研究
戴克里先 Diocletian 297
丹尼尔 Daniel of Morley 384, 388, 432
但丁 Dante 425, 504
弹道学 ballistics, 见"抛射体研究"
导数中值定理 564
道斯 E. R. Dodds 248
德米特里 Demetrius 182, 188-190
德谟克利特 Democritus 80, 98-102, 108, 112, 129, 135, 165, 170, 233, 237, 250
邓布顿 John of Dumbleton **461, 462**, 467, 469, 520, 601, 608
邓斯司各脱 Duns Scotus 428, 461
滴漏 clepsydra 167
狄奥多西 Theodosius of Bithynia 207, 223, **227**, **228**, 234, 259, 285, 356, 358, 387, 535
狄奥多西大帝 Theodosius I 296, 297
狄奥尼西二世 Dionysius II 144, 148
狄德金分割 Dedekind cut 164
狄克阿科斯 Dicaearchus 113
狄诺斯特拉图斯 Dinostratus 151, 161, 165, 166, 182
狄翁 Dion 148
狄约翰 John Dee 473, 513-516, 558
迪昂 Pierre Duhem 30, 431
迪尔斯 Hermann Diels 87, 108, 109
迪伦 John Dillon 234, 240, 241, 244, 252
笛卡儿 Descartes 20, 28, 448, 473, 538, 548, 558, **559-561**, 562, 566-568, 572-574, 578, 581, 585, 589, 591, 593, 595, 607, 610, 624
底比斯 Thebes 38, 40, 45, 142, 153, 185
底泽斯特海斯 E. J. Dijksterhuis 605
地动说，见日心说
地理学 184, 214, 216, 221, 237, 263, 265, **284-289**, 326, 475
地母 Demeter 117
帝王表 The King's List 38, 43
第谷 Tycho Brahe 206, 231, 357, 364, 493, 495, 503, 521, 535, **541-543**, 545-548, 600, 607, 608, 610, 615, 620, 621
第欧根尼 Diogenes Laertius 81, 82, 86, 100, 107, 113, 131, 134, 135, 143, 162, 188, 223, 254, 260, 368
蒂宾根大学 Tübingen University 544
丢番图 Diophantus of Alexandria 223, 239, 257, **292**, **293**, 294, 304, 325, 327, 452, 532, 560, 567

丢勒 Abrecht Durer 506, 507
对数 53, 58, 525, 548, **570**, 570n2, 579, 610
多布斯 B. J. T. Dobbs 519
多利安人 *Dorians* 76
多米尼加，西班牙人 Dominicus Hispanus 451
多明尼加修会 Dominicans 411, 436, 453

E

俄诺庇得斯 Oenopides 158, 170, 174
厄番图 Ecphantus **170**, **171**, 178, 179, 263, 500, 501
恩培多克勒 Empedocles 80, 93, **95**, **96**, 97–99, 102, 124, 129, 141, 150, 170, 301, 337
二项式系数/定理 328, 356, 569, 571, 582

F

发石机 catapult 189, 201, 231
法蒂玛派 Fatimids 333
法尔甘尼 Al-Farghani 311, 324, **330**, **331**, 333, 385–387, 491
法国皇家科学院 574
法拉比 Al-Farabi 311, **323**, 343, 344, 348, 385, 387
法兰克 Erich Frank 108, 373
法兰姆斯蒂 Flamsteed 584, 588
法兰切斯卡 Francesca **505**, **506**, 522, 523, 612
法兰西斯一世 Francis I 477
法力 Theurgy 240, 244, 245, 247, 248, 254, 255, 300, 510
法利斯 al-Farisi，见卡玛阿丁
法林顿 Farrington 604
法学文献：《学说汇纂》（民事法）*The Digest* 398;《诏令》（教会法汇纂）*Decretum* 398, 406, 407;《民事法典》*Corpus juris civilis* 397, 398
翻译运动，阿拉伯 310, **319–323**, 376, 418, 519；希腊文明移植背景 312–314；原动力 316, 318, 319
翻译运动，中古及近代欧洲 369, 376–394, 429, 508, 534, 535
反地球 Anti-earth 132, 133
反改革运动 Anti-Reformation，见宗教改革
范岱年 10, 14
方程式解与研究：二次方程式 35, 52–56, 58, 194, 195, 293, 325–327, 453, 524, 525, 530；三次及四次方程式 58, 329, 361, 363, 451, 452, 522, 526–531, 539；方程式通论 529–532
方济各修士 Franciscans 465, 522
菲奥里 Antonio Maria Fiore 526, 528, 645
菲德烈三世 Frederick III 487, 645
菲底亚斯 Phidias 197
菲勒塞德斯 Pherecydes 111, 113
腓力二世 Philip II 185, 478, 652
腓力国王 Philip Augustus 410
腓力四世 Philip IV 423, 425
腓力五世 Philip V 224, 225
腓尼基 Phoenicia 70, 78, 85, 100, 113
费邦那奇 Fibonacci 327, 330, 450–452, 453, 520, 523, 524, 601
费迪南二世 Ferdinand II 478, 480, 566
费耳道斯 *Firdowsi* 311, 343
费拉拉 Ferrara 488, 494, 517
费拉利 Ludovico Ferrari 527, 528, 531, 532, 539
费劳庞诺斯 Philoponos 345, 465
费隆 Philon of Byzantium 189, 230
费罗，拉理莎的 Philo of Larissa 223, 235
费罗，数学家 Scipione Ferro 522, 526–528,

532,539
费罗,亚历山大的 Philo of Alexandria 223,**241**,252,299
费罗莱斯 Philolaus 86,109,120,124-126,129-131,133,135-138,141,**142**,**143**,144,148-151,170,171,209,242,290,500,633
费马 Fermat 293,452,538,559,562,565,**566-568**,569,571,574,610
费齐诺 Ficino 393,483,484,**508-511**,512-514,516,519,535,562
分析学,见解析学
弗尔立 James of Forli 461
弗劳恩堡 Frauenberg 494,495
弗里曼 Kathleen Freeman 81,109
弗卢德 Fludd 561
弗米尔 Vermeer 507
符拉迪斯劳二世 Vladislaus II 486,491
富尔伯特 Fulbert of Chartres 378,408

G

伽利略 Galileo 8,28,365,439,466,468,469,474,484,491,503,507,520n1,535,537,538,541,548,565,578,600,604,608,610,612,616ff;背景与经历 **548-551**;以望远镜观察天象 551-554;力与运动的研究 550,551,**555-557**,564;在罗马教廷受审 553-555;与中古运动学 466
伽桑狄 Gassendi 559,561
伽札利 Al-Ghazali 311,347,348,365,385
伽兹南 Ghazna 334
盖伦 Galen 184,322,339,344,380,387,390,519
高等学院 *madrasah* 348,360,362,**366-369**,396,403,413,414,418,420,607
高尔吉亚 Gorgias 80,81,102,233n1
高阶微扰算法 high-order perturbation 589
戈登 Cyrus Gordon 66,67,646
戈列尼谢夫 V. S. Golenishchev 48
哥白尼 Copernicus 8,28,31,85,208,209,276,310,330,331,348,350-352,355,358,359,365,431,472,480,481,484,486,488,491,514,520,521,532,536-538,541,548,549,558,560,570,596-598,600,604,606-608,610,612,615-617,620,638;生平事迹 **494-495ff**;思想渊源 **498-501**;身后影响 501-503,543,545,547,551-555,578;并见《天体运行论》
哥本哈法 Brian Copenhaver 249
哥德尔 Kurt Gödel 589
哥伦布 Columbus 372,473,475,489,492,552,607
哥特式大教堂 *Gothic Cathedrals* 376,623
格拉纳达 Granada 475
格拉提安 Gratian 397,**398-340**,406,407
格拉西 Grassi 553
格兰特 Edward Grant 298n1,347n2,369n3,387n1,420n1,421n1,429n1,431n2,458n1,464-469n
格雷厄姆 A. C. Graham 25
格里高里七世 Gregory VII 374,397,422
格里高里十三世 Gregory XIII 502
格里高里一世 Gregory I 372
格罗斯泰特 Grosseteste 290,342,348,384,393,416,**432-436**,437-440,442-445,450,453,459,464,510,520,532,594,601,608,617
格蒙登 Gmunden 330,**487**,**488**,515

格思里 W. K. C. Guthrie 108-110, 133
根地沙尔维 Gundisalvi 384
共济会 Free Masons 562
古波斯帝国 Achaemenid Empire 318
古代图书的厄运 105,106,106n1,315n1
古尔丁 Guldin 566
古克礼 Christopher Cullen 19
古斯鲁一世 Chorsroes I 314
古腾堡 Gutenberg 615,616
光荣革命 479,587
光学:古希腊 196,198,231,**289,290**;伊斯兰 **340-342**,357;中古欧洲 434,**443-448**;近代欧洲 548,551,552,**578,579,588**,592;彩虹研究 28,357,435,443-448
归谬法 method of exhaustion 155, 156, 163, **164, 165**, 190, 194, 195, 200, 206, 259, 324, 537, 612
圭都奇 Guiducci 553, **553n1**, 556
圭多波度 Guidobaldo 520, 535, **549, 550**, 551, 612, 618

H

哈剌 Herat 360
哈兰 Harran 322, 331
哈雷 Halley 204, 489, 582, 583
哈里奥特 Harriot 473, **536**, 570
哈里发 Caliphs 及苏丹 Sultans: 阿拔斯 Abu l-Abbas 311, 315, 316, 318, 319, 321; 曼苏尔 Al-Mansur 311, **315, 316**, 318, 320, 321; 马迪 Al-Mahdi 318, 320; 拉昔 Al-Rashid 316, 320; 马孟 Al-Ma'mum **321-323**, 325, 367, 368; 卡迪尔 Al-Kadir 368; 穆罕默德二世 Mehmet II 474; 穆拉三世 Murad III 364
哈马丹 Hamadan 344
哈斯金斯 Charles H. Haskins 370, 376, 382, 394
哈札 al-Hajjaj 320
海伯格 J. L. Heiberg 198
海鲁普 Jens Høyrup 50, 64, 326
海桑 Alhazen 290, 311, 320, 324, 333, 340-342, 349-351, 357, 359, 435, 444, 445, 498
海洋 *Okeanos* 83, 84, 88, 91
汉谟拉比 Hammurapi 42, **44**, 630
合赞汗 Mahmud Ghazan 358
何承天 45
荷兰独立战争 **478**, 536, 540
荷马 Homer **68, 69**, 74, 76, 79, 83, 84, 91, 93, 111, 112, 115, 116, 212, 343
贺拉斯 Horace 240
赫尔曼 Hermann of Carinthia 385
赫尔曼,残障者 Hermann of Reichenau 378
赫肯姆 al-Hakim 334, 340
赫拉 Hera 84
赫拉克里德斯 Heraclides 173, **178**, 179, 206, 270, 500
赫拉克利特 Heraclitus 67, 80, 81, 85n1, 89, **91, 92**, 95, 100, 108, 124, 149, 233
赫利孔山 Mount Helicon 68-70
赫伦 Heron 48, 59, 189, 223, 227, **230-232**, 241, 289, 292, 294, 300, 304, 391, 435, 451, 452, 535
赫墨斯,三威 Hermes Trismegistus **249**, 250, 386, 511
赫墨斯教派/信仰 Hermeticism 245, 246, 248, **249, 250**, 508, 514, 561
赫索斯人 Hyksos 39, 46
赫特斯布利 Heytesbury 461

赫梯 Hittite 40,42,44,76
赫西奥德 Hesiod 69,79,83
赫西克里斯 Hysicles 215
赫谢塔 Hicetus **170**,**171**,178,179,263
黑森 Boris Hessen **13**,30,614,647
亨利,航海家 Henry the Navigator 475
亨利八世 Henry VIII 479
亨利二世 Henry II 382,415,422
亨利四世(法王) Henry IV 514
亨利四世(皇帝) Henry IV 374
恒星表,见天文数表:恒星表
洪诺留三世(教宗) Honorius III 402
呼罗珊 Khorassan 315,321,336,344
胡艾卡斯 R. Hooykaas 605,614n2,617,647
胡拜舒 Hubaysh 322
胡克 Robert Hooke 577,579,582,583,609,610
胡利安人 Hurrians 40
胡奈恩 Hunayn ibn Ishaq 311,321,**322**,324,344
胡斯 Huss 425n1,426,485,647
胡斯派运动 Hussitism 426
花剌子模 Khwarazm 334
化学,见炼金术
化约主义 reductionism 29,84,590
画作:《奋进与胜利的教会》421,422;《雅典学园》152,506;《忧郁》507;《圣母升天图》507
怀特 Lynn White 8,23,27,31
怀特海 Alfred North Whitehead 12
怀疑论派 Scepticism 153,230,**233**,235,241,243n1,**252**
皇家花园天文台,巴格达 333
皇家学会 Royal Society 558,570,577,579,582,583,586,588,619
黄道 284,324,331,351,352n2,361
黄道带 Zodiac 168,**216**,230,277,291
彗星 101,204,454,489,553,555,556,584,585,593
惠更斯 Huygens 557,560,573,**574-576**,577,579,582,583,585,587,591,592,608,610,619,621
混沌 Chaos 83,84,**125**,127,**132**,435,540,541,619,620
火器的应用 474;与民族国家兴起 473,477;与抛射体研究 528,550,**618**
霍尔 A. Rupert Hall 23,30,31

J

机械世界观 560,**573**,**574**,581,593,624
机械钟:苏颂水钟 24,623;在欧洲的发明 575,576,618,619;与科学革命 619
基督教会:的毕氏教派渊源 **246**,**247**;与异教徒的关系 296-298;扩张与确立 **371-373**,421-423;对俗世学术态度 **297-299**,**438**,**439**;对亚里士多德态度 428-431;与民族主义冲突 425,426;以弗所大会 Ephesus Council 313;拉特兰大会 Lateran Council IV 422;巴黎大会 Paris Council 430,431;大分裂 Great Schism 423-425;康斯坦斯大会 Constance Council 423;特伦特大会 Council of Trent 477,616n2;与近代科学关系 480,501,502,514,**552-555**,592-596,616;并见教会改革(12世纪)、授职权之争、教会法、宗教改革、谭皮尔主教等
吉尔伯特 William Gilbert 449,547,558,624,626

吉拉德 Gerard of Cremona 337,344,346,352,380,384,385,**386-388**,390,391,393,452,454,455,489,491,498,520,615

极限 limit 5,56,94,101,156,159,163,**164**,**165**,199,200,361,491,534,**537**,**538**,564,566

几何学 82,101,129,163-166,324;古代渊源 46-48,59-64;几何三大难题 144,**156**,**158-160**,165,294,301,324,521;平行公理 193,230,324,356;截锥体 35,45,48,59;并见毕达哥拉斯定理、《几何原本》、阿基米德、曲线、圆周率、解析学等

《几何原本》 *Elements* 54,71,106,107,140,154-156,158,159,161,163,164n1,165,184,196,197,205,215,216,233,242,253,258,261,262,283,284,300,301,326,330,351,355,358,384,385,450,454,489,493,630,639;渊源与流传 193-195,295,296;内容分析 **191-195**;阿拉伯文翻译 320,322;拉丁文翻译 304n1,377,382,383,387,393,523,535;现代语文翻译 513,528,569-570;中文翻译与影响 9,10,620-622;对后世影响 191,199,209,227,228,264,265,294,513,578,**585-587**,586n2,596,600

记数法:六十进—— 50-52,63,264,270,362,363,452,453;阿拉伯十进—— 52,57,264,326,330,332,362,363,451,523,524,537;位置—— 51,52,64,431,571;单分数 46,47;普通分数 47,164

《迦勒底神谕》*Chaldean Oracles* 223,**247**,**248**,254,255,482

迦太基 Carthage 197,225,298,302,379

贾尔斯大主教 Archbishop Giles 457

剑桥大学 414,**415**,416,566,572,579,587

教皇革命,见授职权之争

教会法 Canon Law 375,**398-400**,410,413,494,521

教会改革,12 世纪 372,373

洁净仪式 *katharsis* 95,111,118,121,154,248

解析几何学 184,196,294,329,**560**,**567**

解析学 199,265,419,533,538,557,572,621;中古渊源 460-463,467-469;基本问题 533,534;近代发展 **534-538**;17 世纪发展 **563-571**

金迪 Al-Kindi 311,321,322,**323**,324,339,343,344,348,387,471

金格里奇 Owen Gingerich 278

金色诏令 Golden Bull 485

经院哲学 scholastic philosophy 243,304,343,345-347,354,399,**404-407**,409,410,419,420,426-428,432,441,449,458,461,463,490,508,520,521

居鲁士 Cyrus 42,67,90,96,112

君士坦丁堡 Constantinople **296**,297,320,388-390,422,441,473,474,481-483,488,499,508,521,532,607,611;陷落 441,**474**,**481**,**482**,607

君士坦丁大帝 Constantine the Great 296,**297**,313,371,374

君士坦丁封赠书 Constantine Donation 521

均轮/主轮,见本轮模型

郡地沙普尔 Jundishapur 314,316,648

K

卡巴拉 *Kabbala* **511**,**512**,513,561

卡迪札达 Qadi Zada 311,**362**,363

卡恩 Charles Kahn 88,108,110,240

卡尔丹诺 Cardano 352, 452, 472, 515, 520, 522, **528–531ff**, 610

卡拉吉 Al-Karaji 311, **327**, **328**, 333, 452, 523

卡里普斯 Callipus 177, 178

卡利马克 Callimachus of Cyrene 190, 212

卡利撒尼斯 *Callisthenes* 177, 178

卡洛林帝国 Carolingian Empire 303, 371

卡玛阿丁 Kamal al-Din 311, 341, 356, 357

卡米尔 Abu Kamil 311, 326, **327**, 452, 523

卡尼底斯 Carneades 223, **234**, 235, 252

卡佩拉 Capella 223, **302**, 303, 500

卡佩王朝 Capetian Dynasty 378, 489

卡斯泰利 Benedetto Castelli 553, 553n1, 554, 564, 565

卡斯托 Antonius Castor 238

卡索邦 Casaubon 516, **561**, 562, 596

卡瓦列里 Cavalieri 538, **564**, **565**, 568, 569, 571, 610

卡西 al-Kashi 311, 330, **362–364**, 606, 607

卡西奥多鲁 Cassiodorus 223, **301**, **302**, 304, 377

开普勒 Johannes Kepler 8, 24, 28, 29, 33, 105, 134, 173, 291, 331, 421, 480, 495, 549, 550, 555, 563, 566, 570, 578, 581–584, 594, 597, 600, 604, 607, 610, 616, 617, 621, 624, 626; 生平事迹 **543–548**; 行星运动定律 204, 541, **545**, **546**, 547, 576; 与毕派宇宙观念 544–547; 微积分学贡献 548

恺撒大帝 Julius Caesar 106, 215, 226, 267

康德 Kant 30, 45, 90

康帕纳斯 Campanus of Novara 393, **454**, 487, 488, 523

康斯坦丁 Constantinus Africanus **379**, **380**, 389, 391, 404

柯亨 Bernard Cohen 591

柯亨 Floris Cohen 20, 23n3, 26n2, 30, 31, 604n1, 623

柯雷 Alexandre Koyré 222, **612**, **613**

柯林斯 *Collins* 579, 580

柯林武德 R. G. Collingwood 12

柯洼列兹米 al-Khwarizmi 309, 311, 321, **325**, **326**, 327, 330, 340, 350, 362, 379, 383, 384, 387, 450, 452, 453, 523, 612

柯西 Cauchy 589

科尔多瓦 Cordoba 333, 346, 347, **350**, **351**, 365, 381, 599, 631; 并见安达鲁斯

科洛丰 Colophon 78, 81, 90

科斯岛 Cos 169, 187, 220, 292

科西莫 Cosimo de Medici 483, 483n2, 508, 509, 535

科学革命, 古希腊, 见新普罗米修斯革命

科学革命, 现代 633, 634; 观念争论 595n2; 本质 596–598; 促成因素 12, 13, 17, 611–620; 希腊科学中的——问题 604, 605

科学史研究/理论: 左翼思潮 12, 13; 李约瑟 13–18; 李约瑟的批判 22–26; 迪昂 431; 多布斯 594n1, 595n2; 希腊科学 601–605; 伊斯兰及中古科学 605–609; 柯雷 612, 613; 近代科学革命 613–620; 消解李约瑟问题 623–627

科学史著作及刊物

《算术史》、《几何学史》、《天文学史》(尤达姆斯) 105, 107, 155, 161, 301

《几何原本第一卷评论》(普洛克鲁斯) 82, 107, 135, 160, 161, 230, 300

《世界体系》(迪昂) 431, 431n1, 613, 614

《希腊数学》(希斯) 155n4
《伽利略研究》(柯雷) 612,613,613n1
《魔法与实验科学史》(桑达克) 420n1
《科学史导论》(萨顿) 8
《中国科学技术史》(李约瑟) 6,7,14,15,18–20,22,23ff,593,594
《大滴定》(李约瑟) 15–17,19,21–23,25
《科学革命之结构》(库恩) 596,597
《科学革命之史学研究》(柯亨) 25,26,30
《艾西斯》*Isis* 12,23,622n1
《科学》6,10,11
科学思潮,十七世纪 557–562
科学协进会 Academia dei Lincei **538n2**,552,554
可曼迪诺 Commandino 520,533,**535**,537,538,549,610,612,615,618,620
克贝斯 Cebes 143
克拉格特 Marshall Clagett 420,458,602
克拉科夫大学 Cracow University **486**,492,494,498
克拉苏罗拉斯 Chrysoloras **482**,483
克拉佐门尼 Clazomenae 96
克兰兹 W. Kranz 108
克雷西之役 Battle of Crecy 473
克里奥美迪 Cleomedes 229
克里门 Clement of Alexandria 223,241,243,**298**,**299**
克里特岛 Crete 484;并见米诺斯
克利斯蒂安四世 Christian IV 543
克鲁伊斯 Croesus 90
克吕尼修院 Cluny Monastery 373,381–383,406,432
克伦比 A. C. Crombie 19,24–26,30,420n1,434n1,436n2,443n3,600n1
克伦顿宪章 Constitution of Clarendon 422
克罗顿 Croton 104,**113–115**,142,599
克诺尔 Wilbur Knorr 156,156n1
克诺索斯 Knossos 75,76,117;并见米诺斯
孔子 79,110,240,603
库恩 Thomas Kuhn 23,596,597
库法 Kufah 323,326
库萨 Nicholas of Cusa 500,520,**521**,532,564
库图阿丁 Qutb al-Din al Shirazi 356,357
库希 Al-Quhi 311,**332**,**333**

L

拉法朗 Lanfranc of Bec 378,408,427,432
拉斐尔 Raphael 472,506
拉卡 *Ar Raqqah* 331,331*n2*
拉罗谢尔 La Rochelle 535
拉齐 Rhazes 310,311,**338–340**,344,356,387,389,455
拉提斯邦 Ratisbon 436,437
拉韦纳 Ravenna 397,398
拉希德 Roshdi Rashed 310n1,325n1,327n3,335n1,336n3,338n2,357n1,362n2
拉哲蒙坦那 Regiomontanus 28,293,331,352,376,484,488,489,**490–493**,498,500,508,515,520–522,532,541,570,612,615
莱布尼兹 Leibniz 533,563,568,578,580,581,585,586,588
莱顿大学 Leiden University 536,574
莱浩 Reinhold 502,503,597
莱赫林 Reuchlin 512,513,519
莱萨尼亚 Lysanias 212
莱西斯 Lysis 141,142

兰德斯 David Landes 24
兰斯 Rheims 378,407,408
朗根斯坦 Henry of Langenstein 485,487
劳埃德 G. E. R. Lloyd 137,602
老人星 Canopus 229
雷城 Rayy 338,339,344
雷蒂库斯 Rheticus 491,495,497,502,521,545
雷恩 Wren 570,582,610
雷蒙大主教 Archibishop Raymond 380,384,386
黎塞留 Richelieu 479
李善兰 621,622
李约瑟 Joseph Needham 1,2,6-9ff,29-31,448n1,601,606,607,612,614,617,621-625,627,634;背景与经历 **12-15**,14n1;——问题与论题 **14-18**;科学史观念 19,20;——的影响与批判 **20-26**,621-627;磁现象论述 623-626;中西科学融合论 621,622
李治 364,452
里奇 Ostilio Ricci 549
里斯 Adam Ries 520,524,525
理念(哲学观念) Idea 92,94,152,427,438
力学:运动学、动力学 179,345,460-463,464-466,467-469,528,537,549-551,555-557,572-576,578,582,583ff;静力学 200-202,454,454n1,535,537;应用力学 189,201,230-232;并见冲能、弹道学、抛射体运动
历史著作与文献汇编
《比较传记》(普鲁塔克) 260
《名哲言行录》(第欧根尼) 81n1,82,107,113,260
《圣徒与教会史驳论》(卡索邦) 561
《创世记的问题》(梅森) 561
《前苏格拉底残篇》(弗里曼) 81,108,109
《罗马帝国衰亡史》(吉朋) 257-296
《中古大学》(罗舒道尔) 394n1
《希腊哲学史》(切勒) 107
《希腊哲学史》(格思里) 109
《赫利孔山的东面》(韦斯特) 68-70
利玛窦 Mateo Ricci 9,10,16,620,622
利普尔黑 Hans Lipperhey 551
连续统 the continuum,见数观念之扩展:实数
炼金术 28,109,244,291,386,387,420,440,467,474,481,503,513,531,577,581,583,595,600,606,633;起源 **248-251**;伊斯兰时期 318,**335-340**,346;中古欧洲 384,**455-458**;文艺复兴时期 **516-519**;与牛顿 580,592-594,594n1
炼金术、星占术与魔法著作
《四部书》*Tetrabiblos* 266,**291**,**292**,385
《赫墨斯经典》*Corpus Hermeticum* 249,249n3,508,509,511,561,562
《赫墨斯文献》*Hermetica* 249,250
《迦勒底神谕》,见主条目
《炼金术》(斯特凡诺斯)251
《炼金术》(莫里安纳斯)384
《炼金书》(大阿尔拔图)455,457
《秘中之秘》(拉齐)310,339
《辟加特力斯》*Picatrix* 340n1,**508**,**509**
《炼金术总论》*Summa Perfectionis* 456,457
《百言书》*Centiloquium* 385,386
《生命三书》*De vita libri tres* 509
《隐秘法术的哲学》*De occulta philosophia* 513

《密码术》*Steganographis* 513
《大智慧》*Archidoxa* 519
两河流域 Mesopotamia 32,33,35,36,**40–44**,50,51,53,64,65,67,70,71,75,167,185,196,244,247,254,309,333,630
林伯格 David Lindberg 8,184n1,348n2,420n1,439n2,445n1,509n3
林德手卷 Rhind Papyrus,见埃及:数学手卷条
灵丹 *Elixir* 338,339,455
灵魂转世 metempsychosis 109,111,134
灵界 Pleroma 244,245,512
灵智信仰 Gnosticism 223,**244–247**,251,253,298,509,512,600
刘秉忠 364,632
刘钝 10–13,16,22
刘徽 45,200
流变度*fluxus*、流变量*fluens* 462,572
流数法 method of fluxions 563,572,578,**581**,**582**,585,587,588,609,613
流溢 Emanation 122,123
留基伯 Leucippus 80,**98–100**
鲁道夫 Christopher Rudolff 520,525
鲁道夫二世 Rudolf II 543
鲁道夫四世 Rudolph IV 485
鲁桂珍 13,14
鲁卡斯讲席 Lucasian Professorship 572,579
鲁利 Ramon Lully **456**,457
陆克王 Shah Rukh 360,361
路克莱修 Lucretius 214,223,227,228,235,**237**,377
吕底亚 Lydia 82,90,104,114
吕克昂学堂 Lyceum,见亚里士多德:吕克昂学堂
罗贝瓦尔 Roberval 559,**568**,**569**
罗宾逊 Kenneth Robinson 19
罗伯特,切斯特的 Robert of Chester **383**,**384**,385,452,455
罗德斯岛 Rhodes 74,215,217,221,227,228,**229**,**230**,234,235,268,286,287
罗杰,赫尔福德郡的 Roger of Hereford **384**,432
罗杰二世 Roger II 391,404
罗杰培根 Roger Bacon 290,341–343,384,429,432,430,**439–442**,444–446,449,456,457,459,515,520
罗拉德运动 Lollard Movement 426
罗利爵士 Sir Walter Raleigh 536
罗马与罗马帝国:崛起与征服 **225**,**226**;——时期的希腊科学 227–232,257–266ff;对希腊文化的传承 **234–236**;哲学、科学与编纂学 **237–239**,301–303;对其学术的批判 303;与基督教 296–299,303,304;衰落与灭亡 303,304
罗明坚 Michele Ruggieri 620,622
罗盘 202,473,475,476,**488**,**489**,615–617;并见指南针
罗塞特石碑 Rosetta stone 215
罗素 Bertrand Russell 193,589
罗舒道尔 Hastings Rashdall 394n1,397n2,398n2,400n2,404n1,409,414n2,415,416n1,417n1,461n1,484n1
逻各斯 Logos 241,243
洛克 Locke 580,581,587
洛色林 Roscelin 405,427,428

M

马丁路德 374,425,426,428,472,473,476,477,500,502,517,522,525,540,616

马格列比 al-Maghribi 311,**357**,**358**,359
马格尼西亚 Magnesia 之役 225
马基亚 Franciscus de Marchia 465
马可奥勒利乌斯 Marcus Aurelius 247
马克迪西 George Makdisi 31,367
马拉噶 Maragha 学派/天文台 311,351,353,355,**356–359**,360,498,364,542,606
马拉喀什 Marrakesh 346,347
马拉松 Marathon 之役 96
马利安纳斯 Marianus 300
马林诺斯 Marinos of Tyre 223,**285**,**286**,287
马其顿 Macedonia 40,43,90,116,177,181,183–186,207,224,225,267,481
马斯拉马 Maslama 340
马西利乌斯 Marsilius 425
玛蒂尔达 Countess Matilda 397
迈加拉 Megara 142,146
迈锡尼 Mycenae 文明 70,**74–76**,78,117
麦克罗比乌 Macrobius 223,301
麦尼尔 William McNeill 537
麦哲伦 Magellan 475
满蒂子爵 Marchese del Monte,见圭多波度
曼达教派 Mandaeanism 245
曼尼劳斯 Menelaus of Alexandria 207,221,223,227,234,239,**256–259**,264,292,331,335,356–358,387,535
曼努尔(皇帝) Manuel Comnenus 391
曼苏尔 Abu Nasr Mansur 311,320,**334**,349,356
曼兹克特之役 Battle of Manzikert 333
玫瑰十字教派 Rocicrucianism 562
梅尔夫 Merv 312,**315**,**316**,318,321,328,367
梅兰希顿 Philipp Melanchthon 502,503,512,541,542,544n1,597
梅理 Mary 312
梅森 Mersenne 548,551,**558**,**559**,561,562,567–569,574,596
梅斯丁格 Müstinger 487
梅斯特林 Maestlin 544,545
梅塔庞同 Metapontium 114,236,240
门纳木 Menaechmus 144,151,161,165,166,182,203
蒙波利埃大学 Montpellier University 404,417,456
孟菲斯 Memphis 38,40,113,187
米堤亚人 Medes 67,90
米高,苏格兰人 Michael Scot 352,392,393,450,451
米高主教 Bishop Michael 386
米开朗琪罗 Michelangelo 506
米兰多拉 Mirandola 500,504,**511**,**512**,513,514,519,535
米兰诏令 The Edict of Milan 297
米利都 Miletus 及其学派 69,78,**79–81**,82,**86–89**,96,98,104,111,113,124,186
米诺斯 Minos **74**,**75**,78
民众政治 Democracy 10,185
冥王 Pluton 117,187
缪斯 Muses 70,151,187,188;记忆女神 Mnemosyne 187
摩德拉图斯 Moderatus 223,**241**,**242**
摩尔巴克 Moerbeke 393,**429**,445
摩尔顿 Merton 学派/规则 **461–463**,468,469,471,557
摩尔顿学院 Merton College 459,**461n1**,570
摩罗力高 Maurolyco 448,533,535

摩尼教 Manichaeism 244,246

摩西,贝加莫的 Moses of Bergamo 390

魔法 magic 28, 30, 134, 245, 248, 255, 291, 340, 380, 420, 430, 455, 458, 467, 474, 481, 503, 517, 530, 558, 559, 561, 562, 577, 581, 600; 符偶 talisman 456, 507, 509; 文艺复兴时期 **508**, **509**, **511-514**; 与基督教 **510**, **511**; 与科学革命 **514-516**, 614; 并见炼金术、星占术与魔法著作

莫顿 Meton 171, 177, 218

莫里安纳斯 *Morienus* 251, 455

莫里斯亲王 Prince Maurice 472, **536**, **537**, 559, 574

墨卡托 Mercator 579

墨洛维王国 Merovingian Kingdom 371

默顿 Robert K. Merton 614

目的论 teleology 136, **181**, 201, 410, 434, 466, 481, 560, 573, 605

穆萨兄弟 Musa Brothers 321, **323**, **324**, 387, 452

穆泰齐拉教派 Mutazilites 323, **367**, **368**

N

纳皮尔 John Napier 548, **570**, 610

纳韦 Annibale dalla Nave 526

奈格包尔 Otto Neugebauer **35**, **50**, 57, 59, 62, 152, 166, 169, 212, 227, 228, 230, 261, 283, 359, 454, 499

南怀仁 Ferdinand Verbiest 621

南特诏令 Edict of Nantes 479

尼多斯 Cnidos 78, 162, 174

尼高马可斯 Nichomachus 113, 223, 241, **242**, **243**, 254, 304, 320, 453

尼古拉五世 Pope Nicholas V 484

尼吉地乌 *Nigidius Figulus* 223, 240

尼科梅底 Nicomedes 213

尼莫沙喀斯 Mnemsarchus 113

尼尼微 Niniveh 44, 69

尼沙布尔 Nishapur 328, 354

尼斯比斯 Nisibis 314

聂斯脱利教派 Nestorians 314, 320, 322

牛顿 Isaac Newton 8, 13, 24, 28, 33, 34, 85, 105, 109, 154, 162, 163, 165, 195, 204, 250, 278, 342, 345, 362, 421, 439, 441, 443, 446, 448, 455, 462, 465, 472, 473, 533, 540, 541, 548, 555-558, 566, 568, 571-573, 576-589, 595-597, 600, 604, 608, 609, 611, 613, 617, 620, 621, 624, 626, 632-634; 青年时代 576-580; 微积分的发明 **581**, **582**, 585-587; 光学研究 **578**, 579, **588**, 588n1, 592; 炼金术研究 580, 593, 594; 神学研究与观念 580, 581, 592-595;《原理》的撰写 **582-585**; 实验哲学 **590-592**; 综合论证法 **585-587**; 皇家学会 579, 580, 588; 铸币局 587, 588; "站在巨人肩膀上" 609n1; "奇迹年" *anni mirabilis* 578; 墓志铭 577; 并见《自然哲学之数学原理》

牛津大学 19, 333, 348, **415**, **416**, 426, 429, 433, 436, 570

牛津算学家 Oxford Calculators, 见摩尔顿学派

纽科姆 Simon Newcomb 334

纽曼尼亚斯 Numenius of Apamea 223, **243**, 247

诺曼人 Normans 372, 375, 382, 388, 390, 432, 466

诺瓦拉 Domenico Novara **500**, **501**, 612

O

欧几理德 20, 54, 71, 82, 105-107, 140, 144,

154–156,182–184,**190–192ff**,197,205,207,216,217,236,259,260,262,264,283,289,295,300,301,304,322,327,340,342,356,358,383,387,391,392,434,435,450–454,460,506,535,572,587,611,624;其他著作 196

欧拉 Euler 589

P

帕多瓦 Padua 403,417,425,439,445,481,484,491,494,520,521,535,549–551,608,612,618,631

帕加马 Pergamum 202,228

帕拉塞尔苏斯 Paracelsus 338,472,513,**516–519**,594

帕乔利 *Pacioli* 452,506,520,**522**,**523**,524,526,532,609,612

帕斯卡 Blaise Pascal 559,568,**569**

潘尼提乌 Panaetius of Rhodes 223,228,229,235

庞贝 *Pompey the Great* 223,228

抛射体研究 528,550,551,555,565,576,610,618

培根 Francis Bacon 20,458,473,**557**,**558**,560,562,607,615,623

佩德森 *Olaf Pedersen* 261

佩卡姆 John Peckham 341,445

佩里格林纳斯 Peter Peregrinus **448**,**449**,617,626

佩特拉克 Petrarch 504,520

皮科洛米尼 *Piccolomini* 487,488

皮鲁斯 Pyrrhus of Epirus 225

皮罗 Pyrrhon of Elis 233

珀耳塞福涅 Persephone 117

珀耳修斯 Perseus 67

普拉托,蒂沃利的 Plato of Tivoli 385

普莱斯 de Solla Price 23,24

普雷斯堡大学 Pressburg University 491

普林尼 *Pliny the Elder* 223,227,235,238–240,302,303,377,521

普卢塔赫(史学家) Plutarch of Chaeronea 223,240,260

普卢塔赫(哲学家) Plutarch of Athens 223,300

普罗泰戈拉 Protagoras 80,**102**,146,157,160

普洛克鲁斯 Proclus 82,107,135,152,155,158–160,191,223,230,254,255,292,**300**,301,392,482

Q

七贤 The Seven Sages 81,89,111

奇戈利 Cigoli 507

契马布埃 Cimabue 504

前定说 predestination 426

钱宝琮 *11*

乔托 Giotto 504

乔治,特拉比松 George of Trebizond 483,484,493n1

切勒 Eduard Zeller 107

清教徒革命 *Puritan Revolution* 479,540,557,558,570,572

清气 Aither 129

球面几何学传统 196,**207**,**208**,**227**,**228**,261,521

曲安京 *64n1,628n1,629n1*

曲线:圆锥曲线 conics 165,196,199–201,**202–206**;蚌线 conchoids 230;蔓叶线 cissoid 230;求积线 quadratrix 160,161,165;三分线 trisec-

trix 160; 旋轮线 cycloid 565, 569; 双纽线 lemniscate 176
犬儒学派 154,233n1

R

热尔贝 Gerbert of Aurillac **378**, 381, 408, 427
任鸿隽 6,7,10,11
日心说 **495－497**, 514, 537, 547, 552, 597, 620; 古希腊渊源 132, 133, 170, 171, 208, 209; 中古欧洲渊源 465, 466, 469; 并见《天体运行论》

S

撒马尔罕 Samarkand 311, 328, 348, 360, 361, 364, 366, 542, 606
萨比特 Thabit ibn Qurra 311, **322**, **324**, 326, 331, 387
萨顿 George Sarton 8, 12, 23
萨尔贡大帝 Sargon the Great 42, 43
萨尔皮 Paolo Sarpi 551
萨克罗博斯科 Sacrobosco **453**, 487, 503, 541
萨拉曼卡大学 Salamanca University 417
萨拉米 Salamis 96
萨莱诺/大学 Salerno/University 344, **379**, **380**, 389, 391, 392, **403**, **404**, 417
萨满尼 Samanid 343
萨摩斯岛 Samos 69, 78, 81, 104, 113, 208
萨珊皇朝 Sassanid Dynasty 315, 318
萨维尔教席 Savilian Professorship 570
萨伊利 Aydin Sayili 31, 331n2, 356n1, 364n2, 365–367
塞尔柱突厥/土耳其人 Seljuk Turks 328, 329, 332, 333, 343, 353, 474
塞拉皮神庙 Serapeum 106, **187**, 189
塞里纳斯 Serenus 223, 295, 535
塞琉西王国 Seleucid Kingdom 42, 53, 63, 64, 169, 186, 215, 224, 312, 313
塞隆 Cylon 114, 142
塞内加 Seneca 223, 228, 235, 236, 238, 240, 443
塞内加尔 Senegal 475
塞浦路斯 Cyprus 70, 76, 78
塞齐库斯 Cyzicus 177
塞维尔 Seville 302, 346, 351, 352, 385
三等级议会 Estates General 425, 479
三角学 35, 208, 220, 252, 256, 261, 262, 265, 267, 269, 309, 310, 325, 329, 334, 352, 356, 357, 359, 363, 521, 526, 536, 600, 612; 古代起源 220, 221, 227, 228, 258, 259; 弦表 220, 263, 264; 三角函数表 332, 361; 三角形与线束切割定理 258, 259; 球面三角学 **263**, **264**; 伊斯兰时期 **331**, **332**, 335, 361; 近代 489, 491, **521**, **522**
三十年战争 540, 544, 546, 557
三位一体 Trinity 243, 246, 247, 407, 427, 428, 580
桑达克 Lynn Thorndike 378n2, 379n2, 382n2, 385n2, 404n1, 429n2, 439n2, 455n1, 462n1, 506n1, 509n1-2, 513n1, 530n1
色雷斯 Thrace 74, 79, 80, 90, 93, 116, 117, 181, 481
色诺芬 Xenophanes 69, 80, 81, 89, **90**, **91**, 92, 93, 95, 108, 111, 149
沙喀斯 Ammonius Sakkas 253
沙理巴 George Saliba 31, 310, 318, 319, 336, 355, 358, 365, 369, 499, 606
沙罗斯周期 Saros cycle 82, 168, 170
沙提尔 Ibn al-Shatir 310, 311, 348, **358**, **359**,

365,499–501,600,606,612
山布尔斯基 S. Sambursky 604
山塔之役 Battle of Zenta 474
闪米特人 Semites 43
善马注 Al-Samawal 311, 328, **329**, **330**, 332, 348, 362, 363
舍纳 Johann Schöner 495
设拉子 Shiraz 332, 356
神圣罗马皇帝 373, 374, 393, 397, 400, 422, 423, 425, 450, 472, 477, 478, 485, 487, 489, 543, 566
圣母院 Notre Dame 405, 409–411, 428
圣文森特 Gregory of Saint-Vincent 565, 566
圣西里尔 St. Cyril 296
施安(老施安) Theon of Smyrna 213, 223, **259**, **260**
施安 Theon of Alexandria 223, **295**, **296**
施奥多力,国王 King Theodoric 303, 304
施蒂费尔 Michael Stifel 472, **525**, **526**, 529
施瓦罗 N. M. Swerdlow 359, 494
实体/实物 corpus 84, 94, **124–126**, 174, 179, 345, 498
实体 hypostases 253
史佛查公爵 Duke Sforza 522
史景迁 *Jonathan Spence* 23, 622
史密特 Charles Schmitt 30, 481n1, 616*n*2
始动者 Prime Mover 352
士麦那 Smyrna 78
守尔顿 R. W. Southern 371n1, 394n1, 397–399n, 404n3, 406n1, 407n1, 409n1, 433n1, 609n1
授职权之争 Investiture Contest **374–376**, 397–399, 419, 421, 422
舒克特 Nicolas of Chuquet 423, 520, 523, **524**, 526, 529
舒拉兹 al-Shirazi, 见库图阿丁
数表(多种),见陶泥板/数表
数观念之扩展 325;无理数 **157**, **158**, 163, 164, 194, 195, 205, 330, 467, 523, 524, 603;实数 163, **163n1**, 523, **534**;负数 58, 293, 330, 332, 451, 523, **524**, 530, 537, 568;虚数/复数 523, 530, **532**
数论 number theory:毕氏教派数目观念 **126–129**, 142, 157, 158, 241–243;毕氏数组 62, 63, 452;数字幻方 *magic squares* 324, 338, 507;素数 prime number 195, 214, 342;长方数 oblong number 127, 158;多边形数 polygonal number 216;完整数 perfect number 195, 243, 324n1, 342;充盈数 abundant number、亏缺数 deficient number 243;友善数 amicable number 324n1
数目神智学 numerology theosophy 243
数学:近代欧洲之复兴 519, 520ff, 520n1;与中国科学 628, 629;并见几何学、代数学、三角学、数论、比例理论、归谬法、解析学、流数法、极限、解析几何学、欧几理德、《几何原本》、阿基米德
数学著作及文献
数学手卷,见埃及:数学手卷
《几何原本》,见主条目
《方法论》(阿基米德) 198, 199, 560, 586
《论球面》(多种) 227, 258, 358, 387, 392, 435, 453, 487, 503
《圆锥曲线》(阿波隆尼亚斯) 162, 165, 184, 190, 196, 199, **202–205**, 295, 301, 329, 332, 358, 493

《数学汇编》(泊布斯) 205,294
《算术导论》(尼高马可斯) 214,**242**,**243**,254,304,320,453
《代数学》(多种) 309,**325**,**326**,383,387,450,523-525,531,532,571,578,612
《代数书》(卡米尔) 327
《代数问题示要》(奥玛开阳) 328
《圆周论》(卡西) 362,363
《算术示要》(卡西) 363,364
《测量书》(巴克尔) 327
《算术》(丢番图) **293**,328,532,532n1,567
《算术书》(费邦那奇) 450,451
《算术全书》(施蒂费尔) 472,**525**,**526**
《速度比例论》(布拉沃丁) **459**,**460**,470,471
《通论》(帕乔利) 522,**523**,526
《透视法专论》(法兰切斯卡) 505,506
《比例之比例》(奥雷姆) 467
《三角学通论》(拉哲蒙坦那) **521**,612
《三部书》(舒克特) 523,**524**,524n1
《大法》(卡尔丹诺) 472,526,527,**529**,**530**,531
《分析方法导论》(维艾特) **536**,578
《几何学》(多种) 231,324,387,560,565-567,578
《不可分元素的几何学》(卡瓦列里) 564-565
《无限算法》(沃利斯) 571,578
《无限分析法导论》(欧拉) 589
斯巴达宪章 Spartan Constitution 74
斯彪西波 Speussipus 152,178,180
斯蒂芬,安提俄的 Stephen of Antioch 389
斯多葛学派 Stoicism 148,180,223,228,230,233,234,252,299,427,594
斯涅尔(Snell)定律 342,448,**548n1**,559
斯塔尔 William Stahl 229,234,239,303,305
斯特凡诺斯 Stephanos of Alexandria **251**,336
斯特拉波 Strabo 216,223,237,238,**285**,377
斯特拉托 Strato 182,184,**188**,**189**,190,208,230,233
斯特文 Simon Stevin 363,454,472,533,**536-538**,563,566,610
斯韦恩斯赫,理查德 Richard Swineshead 461,**462**,**463**
斯韦恩斯赫,罗杰 Roger Swineshead 461,**463**
四数点阵 tetractys 129
四元素说 88,**95**,**96**,129,337,338
四则运算 51,52,64,328,451,532
苏格拉底 Socrates 67,73,80,81,86,89,94,97,102,103,105,108,111,120,124,126,136,140,142-147,149,155,159,232,234,236,506
苏拉 Sulla 223,225,235,252
苏美尔 Sumer 40,**41-43**,44,50-52,59,64,65,67,69,131,166,167,630
苏颂水钟,见机械钟
算术,见记数法、四则运算
梭伦 Solon 79,81,146,602
琐罗亚斯德 Zoroaster 79,318,482,506,511

T

塔基阿丁 Taqi al-Din 364
塔凯 Andrea Tacquet 566
塔拉佐那 Tarazona 386
塔伦同 Tarentum 142,144,147,154

塔伦托的文森特 Vincent of Tarento 457
塔西陀 Tacitus 238
泰阿泰德 Theaetetus 149, 154, 155, **158**, 160–162, 193–195
泰勒斯 Thales 66, 71、73, 79, **81–86**, 87–89, 94, 99, 102–104, 108, 111–113, 124, 135, 162, 165, 170, 174, 432, 602, 603, 630
泰利台神秘仪式 Teletai Mysteries 116, 117
泰特利亚 Tartaglia 520, 522, 526, 527, **528**, 531, 532, 549, 607, 610, 612, 618
谭蒙 Themon Judaeus 448
谭皮尔主教 Bishop Tempier **430, 431**, 437, 613
唐纳高 Franz Tengnagel 545, 547
陶泥板 35–36, 41–44, **49–53ff**, 69, 71, 75, 131, 135, 167, 168, 231, 526; 研究的历史 43, 50, 53; 数表 52, 53, 58, 62, 63; 二次方程式解法 **54–57**; 平面形分割 **59–62**; 毕达哥拉斯定理 62–64; Mul-apin —— 168, 169
特奥多鲁斯 Theodorus 102, 141, 155, 156, **157**, **158**, 161, 194, 451
特奥弗拉斯特 Theophrastus 86, 182, 188
特尔斐神庙 Delphic Sanctuary 74, 91
特尔图良 Tertullian 223, 298
特拉比松 Trebizond 483, 484
特里希米 Johannes Trithemius 513, 517
特鲁亚尔 J. Trouillard 248
特洛城 Troy 68, 75, 76
特西比乌 *Ctesibius of Alexandria* 189, 230
梯尔里 Thierry of Chartres 385
提革拉帕拉萨三世 Tiglath-pileser III 70
提摩克里斯 Timocharis 208, 218
天体测量：地球周长 179, 213, 229, 238, 335; 日月距离及大小 209–212, 219, 276
天体圆形轨道观念 **173**, 210, 269–271, 306, 501
《天体运行论》 *De revolutionibus* 359, 472, 486, 487, 494n1, 507n1, 526, 546, 597, 610, 616; 思想渊源 358, 359, 498–501; 所解决的问题 **495–498**; 在十六世纪的命运 501–503
天文数表
恒星表 162, 168, 217, 218, 277, 278, 278n1–4, 331, 349, 361, 487
《天文日志》(巴比伦) 177, 178
《数表手册》(托勒密) 283, 295, 296
《印度天文数表》*Sindhind* 320, 350
《柯洼列兹米数表》 326, 379, 383
《雅恩数表》 350
《托莱多数表》 351, 353, 454
《阿方索数表》 353, 454, 541, 545
《伊儿汗数表》 356
《古尔干数表》 361
《星历》(拉哲蒙坦那) 492, 498, 515, 615
《鲁道夫数表》(开普勒) 545, 547, 548
天文现象：进动 precession 218, 219, 277, 278, 331, 351; 岁差 219; 留驻 station 168, 176, 206, 262, 281, 283, 433, 497; 逆行 retrogradation 168–170, 178, 206, 262, 281, 283, 495, 497; 冲 opposition、合 conjunction 169, 279, 281, 292; 偕日 heliacal 升落 167, 169, 262, 284; 日月蚀 82, 83, 168, 170, 210, 230, 262, 276; 曙暮光 *Twilight* 342
天文学：见巴比伦天文学、埃及天文学、伊斯兰天文学、本轮模型、日心说、天体测量、天文学现象、天文学仪器、托勒密、《大汇编》、哥白尼、第谷、开普勒、伽利略等
天文学仪器：圭表/日珪 gnomon 87, 168, 232;

星盘 astrolabe 275,284,326,331-333,351,352,361,378,379,383-385,441,444,487,492,606;浑天仪 armillary sphere 217,361,492,495;赤道仪 equatorium 351;四分仪/象限仪 543,361,379,487,495;六分仪 333,361;三角仪 495;托勒密量尺 regula ptolemaei 492;望远镜 548,579,580

天文学著作

《论日月之大小及其距离》(阿里斯它喀斯) 209-212

《论天体运动》(奥托吕科斯) 193,207

《天象》(多种) 174,196,207,214,217,227,236

《大汇编》,见主条目

《天文学论集》(图西) 310,355,499,500n1,606n1

《天文学导论》(詹明纳斯) 230

《天文学原理》(法尔甘尼) 331,491

《对托勒密之质疑》(海桑) 349

《大汇编纠误》(阿法拉) 310

《行星理论》(康帕纳斯) 454,487,488

《新行星理论》(波尔巴赫) 349,454,**488**,492,498,503,615

《大汇编提要》(拉哲蒙坦那) 489,**490**,**491**,498,615

《简论》(哥白尼) 494n1,495,498,502

《天体运行论》,见主条目

《初述》(雷蒂库斯) 494n1,495,502

《新天文学》(开普勒) 545-547

《宇宙之和谐》(开普勒) 134,546,547

《星际信使》(伽利略) **551**,**552**,557,561,578

帖木儿 Timur 360,361,482

同心球面模型 homocentric **173-179**,207,301,392,393

透视法 196,289,330,**504-506**,522,550

透特 Thoth 249

图尔克 Hamid ibn-Turk 326,327

图费尔 Ibn Tufayl 311,346,352

图默 G. J. Toomer 260,261,278

图西,纳西尔 al-Tusi 310,311,324,**354-358**,359,362,368,498-500,542,600,606,612;——双轮 Tusi Couple **355**,356,359,498,499

托莱多 Toledo 311,351,353,392,599,631;的光复 375,**380-382**;作为翻译中心 **384**,**385**,387,388

托勒密 Claudius Ptolemy 20,52,106,131,165,205,208,213,215,216-220,223-225,237,239,242,256,259,310,322,326,330,331,335,340-342,348-352,355,359,361,377,385,387,392,431,434,435,445,475,488,492,499,501,506,510,521,535,543,544,547,554,572,597,598,603,604,611,617,624,629;时代与生平 257,**260**,**261**;《大汇编》的撰写 **261-266**;天体运行理论 **266-283**,306-308;其他著作 283,284,289-292;地理学 284-289

托勒密八世 Ptolemais VIII Euergetes 215,226,229

托勒密六世 Ptolemaios VI Philometor 224,226

托勒密王国 Ptolemaic Kingdom **186**,**187**,224,226,229

托勒密一世 Ptolemaios I Soter 186-188,191

托理拆利 Torricelli 556,**565**,568,569,572

W

瓦臣罗德 Lucas Watzenrode 494
瓦尔特 Bernhard Walther 493
瓦莱里 Luca Valerio 533, **538**, 551, 563, 564, 566
瓦伦廷教派 Valentinianism 245
瓦罗 Varro 223, 227, **236**, 237, 240, 278, 301, 302, 359, 377, 494
王蕃 45
威克里夫 John Wyclif 415, 416, 426
威廉,沉默者 William the Silent 478, 536, 574
威廉,香普的 William of Champeaux 405, 406, 408, 410, 428
威廉,征服者 William the Conqueror 375, 379
威廉三世 William III 458, 559, 657
威斯特伐利亚条约 Treaty of Westphalia 478
微积分学 461–463;并见解析学及流数法
韦伯 Max Weber 30, 614
韦斯特 Martin West 67–70
唯名论 Nominalism 427, 428, 463, 464
唯实论 Realism 427, 428
维艾特 Francois Viete 363, 473n1, 533, **536**, 563, 567, 574, 578, 610, 612
维尔主教 Bishop de Vere 432
维根斯坦 Wittgenstein 35
维兰诺瓦 Arnold of Villanova 456
维萨里 Andreas Vesalius 472, 506, 507, 526
维特鲁威 Vitruvius 209, 223, **237**, **238**, 377, 523
维腾堡 Wittenberg 495, 502, 503, 517, 525, 542
维提罗 Witelo 28, 341, **445**, 493
维维安尼 Viviani 556
维也纳大学 Vienna University **485**, **486**, 487ff, 525
魏尔施特拉斯 Karl Weierstrass 589
魏复光 K. A. Wittfogel 11, 12, 17
文森特 Vincent, 分别见博韦的与塔伦托的文森特
文学及艺术理论著作
《基格米殊》*Gilgemesh* 43, 67, 69, 69n3, 112
《伊利亚特》*Iliad* 67–69, 69n1, 83, 111, 115
《奥德赛》*Odessey* 69–71, 117
《克勒特》*Kret* 67
《辛努赫》*Sinuhe* 67
《奥菲士颂歌》*Orphic Hymns* 118
《鲁拜集》*Rubaiyat* 328, 343
《帝王纪》*Shah-Nameh* 343
《画论》*Della pittura* 504–505
文艺复兴,12世纪 370, 371, **375**, **376**, 380, 381n1
文艺复兴,意大利 17, 18, 472, **503–507**, 520, 522, 523, 605–607, 609–611
沃尔克 Walcher 379, 383, 432
沃利斯 John Wallis 324, **570**, **571**, 578, 610, 612
乌尔 Ur 41–43, 53, 69n3
乌尔班八世 Urban VIII 554
乌尔班四世 Urban IV 412, 454
乌尔比诺 Urbino 520, 522, 535, 549, 612, 618
乌尔狄 al-Urdi 311, **357**, 359, 606n1
乌尔南姆 Ur-Nammu 43
乌格列 Ugarit 66, 67, 70, 76
乌兰尼堡 Uraniborg 364, **541–543**, 620
乌鲁卡坚那 Urukagina 43
乌鲁克 Uruk 50

乌美亚皇朝 Umayyad Caliphate 311, **315**, 316, 318, 319, 333, 335, 336, **350**, 358, 381
屋大维 Caesar Octavius 223, 226
无穷/无限 apeiron **87, 88**, 125, 127
无限 infinite 94, 101, 460, 463, 521, **533, 534**, 537, 563–571, 586, 587
兀鲁伯 Ulugh Beg 311, **360, 361**, 362, 366, 542
物理学与其他科学著作
《机械手册》(费隆) 189
《反射光学》(多种) 198, 231, 232, 435
《光学》(多种) 196, 289, 290, 295, 341, 387, 391, 392, 435, 445, 493, 548
《光学》(牛顿) 578n1, 588, 588n1, 592, 594
《光学汇编》(海桑) 290, 310, 340–342, 357, 435, 445
《光学通义》(佩卡姆) 445
《论彩虹》(格罗斯泰特) 443
《论彩虹及光象》(西奥多里克) 446–448
《主集》(罗杰培根) 440–442, 444, 445, 449
《磁学书简》(佩里格林纳斯) **449**, 626, 626n2
《磁学》(吉尔伯特) 449, 626, 626n2
《力学》(赫伦) 231, 232, 391
《力学》(伽利略) 550, 551, 556
《力学》(其他多种) 571, 589, 618
《两种世界系统的对话》(伽利略) **554**, 555, 556, 578
《两种新科学》(伽利略) 469, **556, 557**
《悬摆钟》(惠更斯) 575, 576
《自然哲学之数学原理》, 见主条目
《地理学》(多种) 214, 221, 265, 284–289, 326
《乐理》(托勒密) 290, 291
《论建筑》(维特鲁威) 209n1, 237, 238

X

西奥多里克 Theodoric of Freiberg **446–448**, 601, 617
西多修道院 Cistercian Monastery 405
"西方"的观念 32, 33
西方科学发展特征 629–634
西里安纳斯 Syrianus 300
西门尊者 Simon Magus 245, 510
西米亚斯 Simmias 143
西塞罗 Cicero 170, 223, 227, 228, 234, **235**, **236**, 237, 240, 377, 500
西维斯特二世 Sylvester II, 见热尔贝
西西里 Sicily 38, 74, 78, 80, 90, 92, 95, 133, 142, 143, 146–149, 162, 170, 178, 197, 225, 375, 379, 380, 382, 388–393, 404, 450, 535; ——晚祷事件 423
希庇亚 Hippias 80, 81, 102, **160**, 165
希波克拉底, 数学家 Hippocrates of Chios 81, 95, 156, **159**, 161, 162, 165, 194, 195, 208, 301
希波克拉底, 医学家 Hippocrates of Cos 81, 184, 322, 344, 380, 390
希俄斯 Chios 68, 78, 643
希尔伯特 David Hilbert 193
希尔德布兰 Hildebrand, 见格里高里七世
希腊本土宗教: 荷马宗教观 69, 83, **115, 116**; 永生追求 116–119; 阴间观念 117, 118; 并见奥菲士教派
希腊科学: 分期 105–107; 起源问题 104, 107–

110,602,603;结束问题 304,305,603-605
希腊文化热潮 481-484,500,501,**507**,**508ff**,611;与数学复兴之关系 504,506,507,**520ff**,520n1,522;对亚里士多德学说的影响 480,481
希罗多德 Herodotus 66,68,69,85,112,113,119
希罗菲卢斯 Herophilus 184
希帕蒂娅 Hypatia 223,292,**296**,298,303,305,313
希帕苏斯 Hippasus **141**,**142**,157,158,194
希斯 Thomas Heath 49,108,171n1,176n1,191n1,197n1,206n2,209n3,229n2-3,231n1
昔兰尼 Cyrene 146,157,212
锡巴里斯 Sybaris 114
锡克利 Sacherri 324
锡拉岛 Thera 75
席文 Nathan Sivin 16,25,620,621,627
喜帕克斯 Hipparchus 162,183,184,207,208,215,**216-221**,222,227,229,230,238,256-260,262,263,266,268,270,271,273-279,285,300,351,361,501
小天文学 Little Astronomy,见球面几何学传统
楔形文字 cuneiform 41,43,5,51,59,69,70,631
辛格 Charles Singer 23
辛普里修斯 Simplicius 86,101,107,155,159,171,173ff,223,230,242,292,300,301,301n1,303,314
新普罗米修斯 New Prometheus 革命 33,**154-160**,184,598,603,628-630
新星 nova 542,551,593
新学园 The New Academy 483,**508**
星表,见天文数表:恒星表
星等 277,278
星占术 astrology 249,**291**,**292**,388,467,509,511,512,515,522,561;并见炼金术、星占术与魔法著作
匈雅提 Matthias Hunyadi 491n2
休高 Hugh of Santalla 386
徐光启 9,10,16,620
旭烈兀 Hulegu 354,357,358,364,606,607
叙拉古 Syracuse 144,147,150,170,190,197,222,225,391
旋进,见天文学现象:进动
学宫 Museum 106,153,180,182,183,**187-190**,191,197,202,205,208,212-215,217,218,227,233,241,261,292,295,296,321,377,394,396,483,604
学园 Academy 80,89,104,107,128,136,140-144,**147-154ff**,180-182ff,233,234,252,300,301,303,305,314,394,396,483,508,599,603,633
旬期 Decan 167

Y

雅典 Athens 43,67,75,78-81,92-94,96,97,102,105,114,116,117,155,157-159,162,165,177,188-191,212,214,223,225,227,228,235,236,256,295,298,299,322,500,599,631;并见学园
雅斯贝斯 Karl Jaspers 79,111,602
雅兹德(亲王) Khalid ibn Yazid **335**,**336**,455
亚大纳西 Athanasius of Alexander 580
亚尔贝提 Alberti **504**,**505**,506,522
亚该亚族 Achaens 68,76
亚拉图 Aratus 207,214,217,236

亚里士多德 27,32,80,81,83,85-87,94,99-101,103,105,112,113,124-126,128,131-134,136,148,165,174,177,184,185,201,206,229,232,235,236,242,250-252,263,290,300,304,318,337,349,352,366,369,380,385,386,399,405,406,413,427,434-436,443,444,446,453,457,458,470,471,474,483,484,487,490,501,506,508,512,519,520,540,551-552,554,558,559,613,617,629;家庭背景 **181**,**182**;与柏拉图 151-153,161,162,**180**,**181**;学术贡献 178-180,**181**,**182**;与科学史 106,107,155,301;吕克昂学堂与传人 145,153,154,182,183,187-189,208,214,233;著作的翻译与流传 320,322,323,344-347,390-393,387;伊斯兰世界影响 322,323,346-348;中古欧洲影响 419,**428-431**,437-439,460,464-466;地位在近代的转变 480,481,550,555,560,573

亚里士多德著作 428,429

- 《前后分析篇》304,387,390,391,399,429
- 《论题篇》94,304,318,320,390,399
- 《解释篇》235,304
- 《范畴篇》107,235,304
- 《辨谬篇》304,390,399
- 《形而上学》80,120,126,128,177n2,178,181,300,322,393
- 《论灵魂》107,254,322,393
- 《物理学》107,128,301,320,322,387,393,431,434,460,465,470,550
- 《天象学》178,387,391,435,443,444
- 《论天》80,107,134,174,177,178,301,387,393,467,470,550
- 《论生成》387
- 《动物学》392,393

亚里士多塞诺斯 Aristoxenus 113,131,153n2,154,290

亚历山大城 Alexandria 106,140,152,180,182-184,**186-188**,221-223,226,229-231,234,256,257,259,263,267,285,291,294,298,300,309,311,313-315,336,419,434,503,559,628,631;并见学宫

亚历山大大帝 Alexander the Great 32,36,39,40,42,165,168,169,177,181,183,**185**,**186**,188,244,318,480

亚历山大四世,教宗 Alexander IV 412

亚述帝国 Ashur 24,42,44,53,64,69,70,90,168

亚维尼翁 Avignon 423,425

耶茨 Francis Yates 23,30,509,515,561,614

耶稣会 Society of Jesuits 5,12,**477-478**,533,552-554,559,564-566,620-622

一性论派 Monophysites 313

伊壁鸠鲁 Epicurus 148,180,230,233,236,237

伊拉斯谟 Erasmus 472,517

伊拉希斯特拉斯 Erasistratus 184

伊丽莎白一世 Elizabeth I 479,513,570

伊懋可 Mark Elvin 22

伊内留斯 Imerius 397,399

伊萨克 Ishaq ibn Hunayn 322

伊莎贝拉 Isabella I 475

伊山努格鲁 Ihsanoglu 364n2,368

伊斯法罕 Isfahan 328,344,362

伊斯兰科学 31,32,165,321,325,354,360,362,418,436,600,605-607,612,633;概观

与分期 310,311;对欧洲科学的影响 309,310;为何未能出现突破 364-366;社会基础 365-369;
伊斯兰天文学 330-335,348-359,360-362,364
伊斯兰学术:高等学院 *madrasah* **366-369**,367n1,396,413,607;法理学 *fiqh* 319,342,**367-369**,375,396,418;神学 *kalam* 323,342,343,348,356,368;哲学 *falsafa* 323,344,345,347,348,356,367-369;并见伊斯兰科学、伊斯兰天文学及其他数学与科学分支
伊斯梅教派 Ismailites 336,344,354
伊索克拉底 Isocrates 113
伊西多尔 Isidore of Seville 302,303,377
伊辛 Isin 42-44
医学、生物学、自然史著作
《论自然》(多种) 86,120,143,148
《自然之本质》(路克莱修) 214,237
《自然史》(普林尼) 238,239,302,521
《医典》(阿维森纳) 310,344,357,387,517
《正统汇编》(阿巴斯阿里) 389
《动物学》、《植物志》、《矿物学》(大阿尔拔图) 437
《论人体结构》(维萨里) 472,506,507,507n1
《显微图录》(胡克) 577,578
以弗所 Ephesus 78,81,91,313
以太 aether 83,129,594,595,617,624
意大利战争 474,477,618
音乐理论 117,125,129-132,135,138,139,148,154,290,291,544,546,547
印刷术 473,476,477,520,601,613,615,616,623,626,628;在欧洲的出现与发展 476,476n3,492,493,615;与科学革命 616
英诺森三世 Innocent III 415,422,423
尤达 Joella G. Yoder 575,619
尤德姆斯 Eudemus 105,107,155,161,173,300,301
尤多鲁斯 Eudorus 223,**241**,252
尤多索斯 Eudoxus 81,133,151,155,156,158,160,161,**162-166**,169,170,**173-177ff**,184,191,193,205-207,216,217,236,260,262,264,**301**,602,629
尤金 Eugene of Palermo 392
尤里庇底斯 Euripides 96
尤里图斯 Eurytus 126,141,142
尤美乌斯 Eumaeus 70
尤努斯 Ibn-Yunus 311,334,350
尤托斯乌 Eutocius 223,230,292,**301**,535
宇宙灵魂 Cosmic Soul 119,122
元素 elements 84,88,95,97,100,124-126,128,129,150,160,191,241,250,337,338,367,430,446,457,518,533,534,563,566,568,569,571,594
原质 *arche* 83,84,**87-91**,98,100,112,124,170
原子论 89,93,97,**98-101**,132,233,237,427,460,534,558,624,625
圆周率 35,45,47,59,200,205,349,**362**,**363**,571
圆锥曲线,见"曲线,数学"条
远洋探险 475,513,617
约阿希姆派 Joachimitic 440
约旦纳斯 Jordanus Nemorarius **453**,**454**,528
约翰,巴勒莫的 Johannes of Palermo 451
约翰,塞维尔的 John of Seville 385,388

约翰,索尔兹伯里的 John of Salisbury 432, 609
约翰八世 John VIII Palaeologus 482

Z

札贝尔 Jabir ibn Hayyan 249, **335–338**, 339, 340, 356, 387, 455, 456
札噶里 Ibn al-Zarqalluh 311, 350, **351**, 353, 454
札马阿丁 Jamal al-Din 364
翟晏尼 al-Jayyani 311, 350, 351
詹明纳斯 Geminus 223, 227, **229**, **230**, 300
詹姆斯,威尼斯的 James of Venice **390**, 399
詹姆斯二世 James II 587
哲王 Philosopher King 73, 143, **144**, 148, 150, 152
哲学著作
《九章书》(柏罗丁) 253, 344
《是而非》(阿伯拉) 406, 407
《人之尊严》(米兰多拉) 504, 512
《方法论》(笛卡儿) 560
《哲学原理》(笛卡儿) 560, 573, 578, 591n1
柏拉图及亚里士多德著作,各见主条目
真空 66, **99**, 189, 345, 430, 431, 460, 550, 569, 577, 592
正多边形 54, 59, 159, 363
正多面体 129, 135, 155, 195, 523, 544
正切函数 tangent function 361, 489
正弦函数 sine function 220, 258, **331**, **332**, 489, 569
芝诺,塞浦路斯的 Zeno of Cyprus 180, 233
芝诺 Zeno of Elea 73, 80, **94**, 98, 99, 460, 534, 556, 566
指南针 448n1, 449, 473, 488, 623
制宪大会 Convention Parliament 587
智慧宫 *Bayt al-Hikma* 153, 311, **321**, 324, 325, 384, 394, 396
智者 sophists 73, 80, 85, 93, **102**, 103, 108, 123, 136, 144, 151, 157, 232, 430, 509; ——与数学 ***159***, ***160***
置闰法 Intercalation 167, 168, 171, 172, 178
中国科学:圆周率 45, 200, 363; 开方 364; 《几何原本》之翻译及影响 9, 10, 620, 621; 与现代科学接轨 621, 622; 道教与中国科学 632, 633; 中西科学比较 627–629; 《墨子》 79, 626, 632; 《周髀算经》 9, 64, 87, 168n1, 626, 628, 632; 《九章算术》 9, 54, 626, 630; 《数理精蕴》 620; 其他古代典籍 625, 626; 并见徐光启、李约瑟、指南针、磁学条
中国科学社 6, 11
轴心时代 Axial Age 79, 111, 602
宙斯 Zeus 115, 117, 133, 187
朱利安,法力师 Julian the Theurgist 223, 247
竺可桢 6, 7, 10, 11
转世 transmigration 109, 111, 118, 119, **122**, 134, 421, 438
追忆前生 Anamnesis 111
滋长灵气 vegetable spirit 594
自然神学 Deism 562, 596
《自然哲学之数学原理》 *Principia* 154, 165, 192, 540, 563, 576, 578, 583n2, 595, 597, 609; 撰写与出版 582, 583; 新体系之建立 **584**, **585**; 论证方式 585–587; 理念与风格 590–592; 对后世影响 588, 589, 595, 596
宗教改革 The Reformation 与反改革 473, **477–480**, 500, 514, 517, 519, 549, 616

宗教经典及神学著作
《阿维斯陀经》*Avesta* 318
《古兰经》*Koran* 351,368,383
《创世记》*Genesis* 84,299,435,561
《圣经》(基督教) *Bible* 242, 245, **246**, **247**, 247n1, 255, 298, 425, 428, 430, 433, 435, 438, 476, 477, 496, 525, 616
《反基督徒》(波菲利) 254
《上帝之都》(奥古斯丁) 254,421,422n1
《科普特文灵智经卷》*Coptic Gnostic Codices* 246
《科隆摩尼经卷》*Cologne Mani Codex* 246
《撮要》(彼得隆巴德) 406,407
《圣经注疏》(拉昂学派) 406,407
《文献汇编》(奥度) 407
《神学要义》(阿奎那) 429
《王政论》(但丁) 425
《神因论》(布拉沃丁) 425,426,459
《哲学家的意图》、《哲学家的失当》(伽札利) 348
《失当的失当》(阿威罗伊) 348
祖冲之父子 200,363,632
佐西莫斯 Zosimos of Panopolis 223,**251**
座堂学校 cathedral school 367, 378, 385, 405, **407–409**, 432, 607